BEITRÄGE ZUM TICKERPROBLEM

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde vorgelegt
der hohen philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Karl Baumann

aus Basel

Gekürzte Fassung

BASEL
Buchdruckerei Emil Birkhäuser & Cie.
1924

BEITRÄGE ZUM TICKERPROBLEM

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde vorgelegt
der hohen philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Karl Baumann

aus Basel

Gekürzte Fassung

BASEL
Buchdruckerei Emil Birkhäuser & Cie.
1924

Herrn *Karl Baumann* wurde von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät der Universität Basel erlaubt, eine verkürzte Fassung seiner Inaugural-Dissertation drucken zu lassen. Die vollinhaltliche Arbeit kann eingesehen oder entliehen werden:

1. in der Physikalischen Anstalt der Universität Basel.
2. in der Universitätsbibliothek Basel.
3. in der Schweizerischen Landesbibliothek in Bern.

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. *H. Zickendraht* und Dr. *A. Hagenbach.*

Basel, den 14. Dez. 1923.

Prof. Dr. **A. Buxtorf.**

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

DEM ANDENKEN
MEINER MUTTER

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548816_0112

Einleitung.

Die vorliegende Arbeit geht zurück auf die im Jahre 1920 in der Schweiz zum erstenmal aktuell gewordene Frage der Verwendung der Radiotelegraphie im Dienste des Alpinismus. Im Sommer des genannten Jahres wurden die Herren Professoren *H. Zickendraht* (Basel) und *A. de Quervain* (Zürich) vom Zentralkomitee Aarau des S. A. C. beauftragt, das Problem gemeinsam zu studieren. Herr Prof. Zickendraht schlug mir vor, die Frage nach einem geeigneten Empfänger etwas näher zu untersuchen. Wir gingen aus von den in der Alpina durch die Herren Professoren de Quervain und Zickendraht zugrunde gelegten Richtlinien[1]) und wurden dabei notwendig auf einen Empfänger vom *Tickertypus* geführt. Wir werden darauf übrigens am Schlusse der Arbeit nochmals zurückkommen.

Die Durchsicht der Literatur über den Ticker zeigte, dass dieser noch sehr wenig nach physikalischen Gesichtspunkten hin untersucht war; besonders war nirgends eine Charakteristik erwähnt. Es erwies sich deshalb als nötig, die Eigenschaften des Tickers und des mit ihm verwandten Schleifdetektors etwas genauer zu betrachten, wobei der letztere die interessanteren physikalischen Probleme darbot.

Um ein Urteil über die Empfindlichkeit der verschiedenen Tickerarten, besonders auch im Vergleich mit dem Schwingaudion zu erhalten, ergab sich die Notwendigkeit, eine neue Methode zur Messung von kleinen Kopplungskoeffizienten auszuarbeiten. Wir untersuchten ausserdem noch verschiedene Telephone auf ihre Empfindlichkeit. Die Erfahrungen wurden dann bei der Konstruktion des Empfängers praktisch verwertet.

[1]) Alpina, Bulletin des Schweizer. Alpen-Club, **29**, 66 (1921).

Erstes Kapitel.

Detektoren mit Tickereigenschaften.

§ 1. Historisches.

Unter *Ticker* sei im folgenden jede mechanische Unterbrechungsvorrichtung verstanden, die es erlaubt, in Verbindung mit einem Telephon als Indikator ungedämpfter Schwingungen zu dienen. Die Unterbrechung braucht dabei elektrisch keine vollkommene zu sein, sondern kann bloss in einem Schwanken des Kontaktwiderstandes zwischen hohen und niederen Werten bestehen. Dann fällt unter den Begriff Ticker auch der unten zu behandelnde Schleifdetektor. Es ist selbstverständlich, dass der Ticker auch vorteilhaft zum Empfang gedämpfter Schwingungen verwendet werden kann. Die Erfahrung zeigt, dass er bei guter Konstruktion und Einstellung allen andern Detektoren ausser der Elektronenröhre an Empfindlichkeit überlegen ist.

Als erster, der das Tickerprinzip zum Empfang elektrischer Schwingungen verwenden wollte, muss wohl *N. Tesla* (1901)[1]) genannt werden. Seine Idee nähert sich zwar eher dem Prinzip des Tonrads, nur dass Tesla noch viel weiter geht und Synchronismus und Phasengleichheit für die Unterbrechung mit den ankommenden Schwingungen verlangt. Die Ausführung einer derartigen Einrichtung ist natürlich an sich schon mechanisch unmöglich.

H. Shoemaker und *Snook* gaben dann 1903 eine Apparatur an, die nicht mehr an dem Synchronismus der Unterbrechung mit der Schwingung festhält und dadurch mechanisch ausführbar wird. Sie haben allerdings, wie *E. Nesper*[2]) richtig bemerkt, das Tickerprinzip in seinem eigentlichen Kern nicht erfasst, da sie den Parallelkondensator zum Telephon wegliessen. Immerhin kann dieser, wenigstens zum Teil, schon durch die nahe beisammen liegenden Zuführungsdrähte des Telephons ersetzt worden sein.

Die erste praktisch wirklich verwertbare Tickereinrichtung stammt von *V. Poulsen*[3]), der bei der Durchführung seiner Versuche mit dem Lichtbogensender gezwungen war, nach einem brauch-

[1]) *N. Tesla*, D. R. P. 139 464.
[2]) *E. Nesper*, Handb. d. drahtl. Telegr., Bd. I, 508.
[3]) *V. Poulsen*, E. T. Z. **27**, 1043 (1906).

baren Wellenanzeiger zu suchen (1904). Er arbeitete dann gemeinsam mit *Pedersen* verschiedene Schaltanordnungen aus, denen allen das Tickerprinzip zugrunde liegt. Hier treffen wir zuerst den Parallelkondensator zum Telephon. Poulsen erkannte auch den wesentlichsten Vorteil seines Tickers, nämlich die geringe Dämpfungswirkung auf den Abstimmkreis.

Da es, wie gesagt, gar nicht notwendig ist, den Tickerkontakt elektrisch vollkommen zu unterbrechen, sondern eine Widerstandsschwankung von hohen zu niederen Werten denselben Dienst tut, so kann man den Ticker auch in folgender Art abändern. Man lässt auf einem rotierenden Zylinder oder einer Scheibe aus Metall einen feinen Draht schleifen. Dadurch entsteht ein loser Kontakt, der seinen Widerstand fortwährend ändert und dadurch Tickerfunktionen übernimmt. Ticker, die dieses Prinzip verwenden, nennt man *rotierende Ticker* oder *Schleifdetektoren*, im Gegensatz zu den oben besprochenen *Peitschentickern*.

Als erster verwandte wohl *R. A. Fessenden* (1905) einen solchen rotierenden Detektor. 1906 gab *L. W. Austin*[1]) einen Schleifdetektor an, bei dem ein Stück Tellur auf einem rotierenden Aluminiumstab schleift. Später zeigte dann derselbe Forscher[2]), dass jeder lose Schleifkontakt in Verbindung mit einem Telephon als Indikator gedämpfter Hochfrequenzschwingungen dienen kann. Er verwendete schliesslich eine hochglanzpolierte Kupfer- oder Nickelscheibe, gegen die ein dünner Kupferdraht angedrückt wurde. Austin benützte seinen Detektor zwar nur für gedämpfte Schwingungen, doch spricht er natürlich auch ohne weiteres auf ungedämpfte an.

Es wurden dann später von verschiedenen Firmen Ticker konstruiert. Für Konstruktionsdetails verweise ich auf Nespers Handbuch. Ich möchte nur noch auf den von C. Lorenz, A.-G., gebauten rotierenden Ticker aufmerksam machen, der eine Kombination des Prinzips des Peitschentickers mit dem des Schleifdetektors darstellt, da der Zylinder, auf dem der Golddraht schleift, ausserdem noch geschlitzt ist.

In neuester Zeit ist von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin, eine Anordnung patentiert worden, die man wohl als *Röhrenticker* bezeichnen kann, da sie als Unterbrecher Kathodenröhren benützt. Eine praktische Bedeutung kommt der Schaltung allerdings nicht zu, da bei Verwendung von Röhren der Über-

[1]) *L. W. Austin*, Phys. Rev. **24**, 509 (1907).
[2]) *L. W. Austin*, Phys. Ztschr. **12**, 867 (1911).

lagerungsempfang, sei es mittels Fremdüberlagerung oder einer Autodynschaltung aus mehreren Gründen sicher vorzuziehen ist.

§ 2. Beschreibung der untersuchten Ticker und der Messanordnung.

Zur Untersuchung standen mir folgende Ticker zur Verfügung:

1. *Ein Peitschenticker:* Er war früher in unserem Institute nach Angaben von Herrn Prof. Zickendraht konstruiert worden und erwies sich als sehr empfindlich. Die Tickerpeitschen bestehen aus vergoldetem Kupferdraht von 0,15 mm Durchmesser und sind beide zu einer U-förmigen Schleife gebogen. Die Länge der Drähte von der Biegung bis zur Berührungsstelle der beiden Schleifen beträgt 15 mm. Die eine Schleife ist gut isoliert an der schwingenden Stahlfeder angebracht, die gleichzeitig den Kontakt zur Steuerung des Elektromagneten für die Unterbrechung trägt. Die andere Schleife liegt in einer Vertikalebene und steht in ihrer Richtung senkrecht auf der ersten. Sie kann mittels einer feinen Schraube sehr empfindlich im Druck der andern genähert werden. Die Unterbrechungsvorrichtung wurde mittels eines Elementes erregt, hinter dem zur Regulierung noch ein Rheostat lag. Dieser Ticker arbeitete am empfindlichsten, wenn die Kontaktstelle möglichst weit vorn an den Goldfäden lag und diese kaum mehr sichtbar vibrierten, so dass eher ein Reiben der Peitschen aneinander als eine eigentliche Unterbrechung stattfand.

2. *Ein grosser Schleifdetektor:* Als Antrieb der rotierenden Scheibe wird ein starkes Uhrwerk benützt. Die Rotationsgeschwindigkeit lässt sich in weiten Grenzen durch eine Bremsvorrichtung verändern. Die Tickerscheibe ist mittels eines Hartgummikonus auf die Achse des Uhrwerks aufgesetzt. Der Zylinder, in den der Konus eingepasst und der mit der Stahlplatte vernietet ist, dient zugleich als Stromzuführung. Zu diesem Zweck schleifen unter ziemlich starkem Druck vier Bürsten aus dünnem Kupferdraht darauf. Diese Art der Kontaktgebung war nötig, um an der Zuführungsstelle Tickereffekte zu vermeiden. Die Stahlscheibe ist glashart und auf Hochglanz poliert. Ihr Durchmesser beträgt 22 cm, ihre Dicke 7 mm. Als Träger des Schleifdrahtes kann ein auf der Grundplatte des Uhrwerks befestigter Halter oder ein in der Höhe beliebig verstellbares Stativ benutzt werden (s. Fig. 1). Vor jedem Versuch wurde die Platte mit Alkohol und Äther abgewaschen, um anhaftende Verunreinigungen von der Oberfläche zu entfernen.

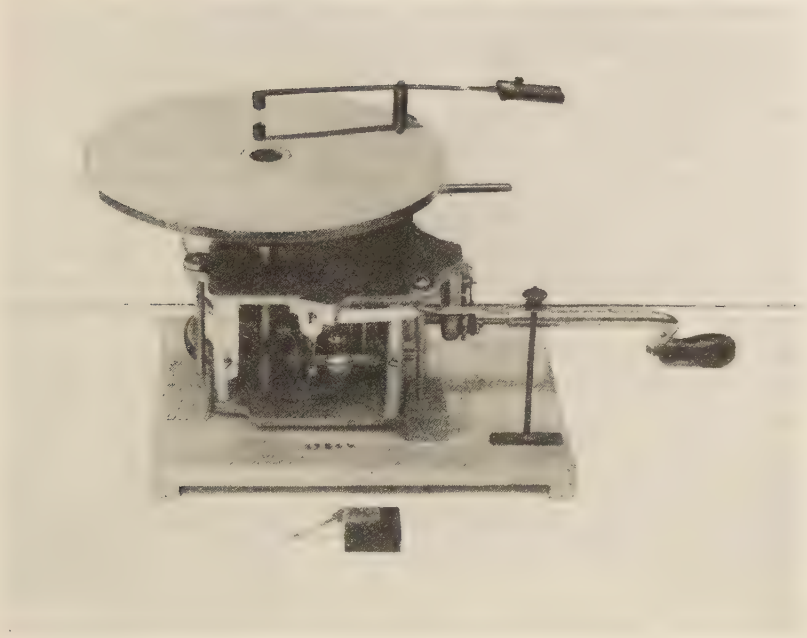

Fig. 1.

3. *Ein Schleifdetektor von Telefunken:* Er besteht aus einer Messingscheibe, deren Unterseite vergoldet ist. Sie wird durch ein starkes Uhrwerk in Rotation versetzt. Die Tourenzahl beträgt ca. 1500/min. Gegen die vergoldete Scheibe wird von unten der Tickerdraht aus Platin (0,05 mm Durchmesser) unter sehr fein regulierbarem Druck angepresst.

4. *Ein Schleifdetektor für den S. A. C.-Empfänger:* Er wurde von Herrn R. Straumann, Waldenburg, nach Angaben von Herrn Prof. Zickendraht ausgeführt. Bei der Konstruktion legten wir vor allem Wert darauf, bei grösster Empfindlichkeit möglichst kleine Ausmasse zu erhalten. Der Durchmesser des runden Uhrwerkes beträgt 55 mm, seine Tiefe 20 mm. Unmittelbar auf einer Uhrwerkachse ist die Tickerscheibe aufgesetzt. Sie lässt sich leicht auswechseln. Es wurden Scheiben aus verschiedenem Material und von verschiedener Bearbeitung angefertigt. Von diesen wurde schliesslich eine mit Schmirgel leicht gerauhte Stahlplatte gewählt. Auf dem Gehäuse selbst, von diesem durch Ebonit isoliert, sitzt die Haltevorrichtung für den Schleifdraht, der aus einem 0,10 mm dicken Platindrähtchen besteht. Sein Druck lässt sich durch eine Hebelübertragung genügend fein regulieren. Die Strom-

zuführung zum Schleifdraht ist in ein Ebonithülschen verlegt, das in eine Durchbohrung des Gehäuses senkrecht zur Oberfläche eingepasst ist. Um eine gute Zuführung zur Tickerscheibe, deren Achse in Stein gelagert ist, zu erzielen, presst gegen diese eine mit dem Uhrwerk verlötete Kupferlamelle. So wurde erreicht, dass bei der endgültigen Montierung im Empfänger alle Zuführungen im geschützten Unterteile liegen. Über das ganze Uhrwerk lässt sich eine oben mit Celluloidfolie geschlossene Kapsel decken, aus der nur die Aufziehvorrichtung und die Druckregulierung herausragt. So ist der Schleifer gegen äussere Einflüsse hinreichend geschützt. Ein wesentlicher Unterschied gegenüber den sonst gebräuchlichen Schleifdetektoren besteht auch in der extrem langsamen Rotationsgeschwindigkeit der Tickerscheibe. Ein Vergleich der Aussenmasse unseres Tickers mit denen des Telefunken-Schleifers ($150 \times 130 \times 145$ mm) zeigt deutlich die gewonnene Platzersparnis. Trotzdem kommt unser Typ dem von Telefunken an Empfindlichkeit mindestens gleich.

Die hier kurz beschriebenen Ticker und Schleifer wurden nun zunächst auf ihre *Gleichstromcharakteristik* untersucht. Es wurde dazu eine Messanordnung gewählt, die im wesentlichen auch für die Aufnahme der gewöhnlichen Detektorcharakteristiken in Betracht kommt. Wir müssen hier gleich auf einen die Messungen sehr erschwerenden Umstand hinweisen. Während wir es bei der Aufnahme von Gleichstromcharakteristiken gewöhnlicher fester Detektoren mit konstanten Gleichströmen zu tun haben, liegt es in der Natur der Tickerdetektoren, dass sie bei einer angelegten Gleichspannung im Galvanometerkreise bloss Gleichstromimpulse liefern. Das Galvanometer zeigt also den galvanometrischen Mittelwert des Stromes, d. h.

$$J = \frac{1}{t} \int_0^t i\,dt.$$

Sämtliche aufgenommenen Charakteristiken beziehen sich also auf diesen Integralwert. Um Aufschlüsse über den Momentanwert i des Stromes zu erhalten, müsste man die Untersuchungen mittels eines Oszillographen weiterführen. Während nun bei kleineren Spannungen (bis ca. 0,5 Volt) die den Werten J des Stromes entsprechenden Galvanometerausschläge ziemlich stabil sind, treten bei höhern Spannungen oft spontane Stromstösse auf, die zur Folge haben, dass man hier mit Mittelwerten der Galvanometerablesungen arbeiten muss. Bei Spannungen unterhalb

ca. 1,5 Volt sind die auftretenden Schwankungen noch relativ gering (kaum über 10%), bei höhern Spannungen erreichen sie dagegen Grössen, die eine Messung illusorisch machen. Wenn die Platte Kathode ist, lassen sich die Messungen beim Schleifer zwar oft noch bei höheren Spannungen ausführen. Doch wird auch hier die Charakteristik oberhalb ca. 2 Volt im allgemeinen instabil. Wir sind deshalb bei unseren Messungen selten über 2 Volt angelegter Spannung hinausgegangen. Um auch innerhalb dieses Messgebietes stabilere Verhältnisse zu erhalten, legte ich nach einem Vorschlag von Herrn Prof. Zickendraht hinter den Ticker in den Messkreis ein Telephon. Diese Anordnung ist zwar schon früher von Rohmann bei seinen Untersuchungen über elektrische Kontaktwiderstände verwendet worden, hingegen dort zu einem ganz anderen Zweck. Infolge der Drosselwirkung des Telephons erhält man auf diese Art eine sehr gute Stabilität der Ausschläge. Man hat dazu noch den weiteren Vorteil, während der Aufnahme der Charakteristiken das Tickergeräusch ständig überwachen zu können.

Um den Ticker oder Schleifer immer möglichst unter den gleichen Bedingungen untersuchen zu können, bei denen er in der Praxis verwendet wird, schlossen wir ihn vor jedem Versuch an einen Empfänger in Primärschaltung an und stellten ihn beim Empfang eines fernen ungedämpften Senders (gewöhnlich Münchenbuchsee oder Ongar) auf maximale Empfindlichkeit ein. Hierauf wurde er aus dem Empfänger herausgenommen, unter eine Glasglocke, die ein Schälchen mit Phosphorpentoxyd enthielt, gestellt und in die Messanordnung eingesetzt.

§ 3. Aufnahme der Gleichstromcharakteristiken.

I. Peitschenticker: Es wurde die Gleichstromcharakteristik des oben besprochenen Peitschentickers aufgenommen. Alle erhaltenen Charakteristiken zeigen den gleichen Typus. Die Unterbrechungszahl des Tickers wurde mit einem Seibt'schen Monotelephon zu 115/Sek. gefunden. Ich gebe im folgenden einige Charakteristiken wieder. Man erhielt dieselben Kurven, ob man die Spannung, ausgehend von einem hohen Wert, ständig abnehmen liess, dann kommutierte und im entgegengesetzten Sinne sukzessive erhöhte, oder ob man nacheinander Punkte aufnahm, die zu entgegengesetzt gleichen Spannungen gehören.

In Tabelle I, II, III und IV gehören die beiden Kolonnen unter der Rubrik „Strom" zu entgegengesetzt gleichen Spannungen.

Tabelle I.

Spannung .	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	0,99	1,19	1,49	1,79 Volt
Strom . . .	3,4	6,8	20,5	34,2	44,5	51,3	61,6	78,7	$85{,}5 \times 10^{-7}$ A.
Strom . . .	3,4	6,8	20,5	34,2	44,5	51,3	61,6	78,7	$85{,}5 \times 10^{-7}$ A.

Aus der Neigung der Kurve, die nahezu eine Gerade darstellt, errechnet man einen Widerstand von ca. 195 000 Ohm. Dieser Wert muss selbstverständlich ebenfalls als ein Mittel aufgefasst werden, da ja der momentane Widerstand sicher eine Funktion der Zeit sein wird. Wenn w der aus der Charakteristik abgeleitete Mittelwert des Widerstandes ist und $w\,(t)$ den Momentanwiderstand bedeutet, so gilt

$$w = \frac{1}{t} \int_0^t w\,(t)\,dt\,.$$

Man kann daher aus der Kenntnis des Integralwertes w keinerlei Aussagen über die Abhängigkeit des Momentanwiderstandes von der Zeit und eventuell von der angelegten Spannung machen. Klärung über diesen Punkt könnte man nur durch oszillographische Aufnahme des Unterbrechungsvorganges erhalten.

Bei der durch Tabelle II dargestellten Charakteristik war der Druck der beiden Tickerpeitschen gegeneinander etwas grösser als bei der wiedergegebenen ersten Charakteristik.

Tabelle II.

Spannung .	0,10	0,20	0,40	0,60	0,79	0,99	1,39 Volt
Strom . . .	10,3	17,1	30,8	44,5	61,6	82,1	$123{,}1 \times 10^{-7}$ A.
Strom . . .	10,3	17,1	30,8	44,5	58,1	82,1	$123{,}1 \times 10^{-7}$ A.

Diese Charakteristik ergibt als Mittelwert des Widerstandes 117 000 Ohm. Das Galvanometer stellte sich bei weitem nicht so ruhig ein wie bei der ersten Charakteristik. Der Widerstand ist, wie zu erwarten, infolge des grösseren Druckes der Tickerpeitschen gesunken.

Bei der nächsten Charakteristik wurde der Druck noch etwas vergrössert, was ein weiteres Sinken des Widerstandes zur Folge hat.

Tabelle III. (S. Fig. 2.)

Spannung .	0,10	0,20	0,40	0,59	0,79 Volt
Strom . . .	6,8	17,1	34,2	61,6	$78{,}7 \times 10^{-7}$ A.
Strom . . .	6,8	17,1	34,2	61,5	$85{,}5 \times 10^{-7}$ A.

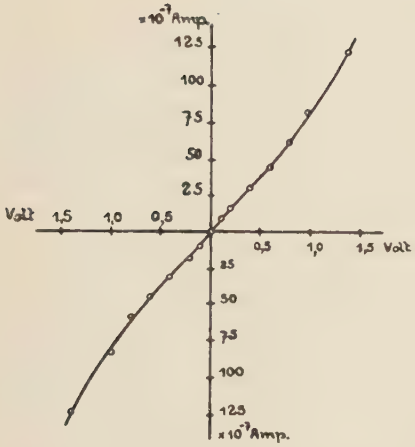

Fig. 2.

Hieraus folgt für den Widerstand 105 000 Ohm.

Die Charakteristik in Tabelle IV wurde bei etwas grösserer Amplitude der Peitschen aufgenommen. Dadurch stieg der Widerstand etwas, da die eigentliche Kontaktdauer gegenüber der Öffnungszeit zurückgegangen ist. Die Unterbrechungszahl blieb bei allen Charakteristiken dieselbe, nämlich 115/Sek.

Tabelle IV. (S. Fig. 3.)

Spannung .	0,10	0,20	0,40	0,60	0,79	0,99	1,39 Volt
Strom . . .	6,8	13,7	23,9	37,6	47,9	65,0	$99{,}2\times10^{-7}$ A.
Strom . . .	6,8	13,7	23,9	37,6	47,9	65,0	$99{,}2\times10^{-7}$ A.

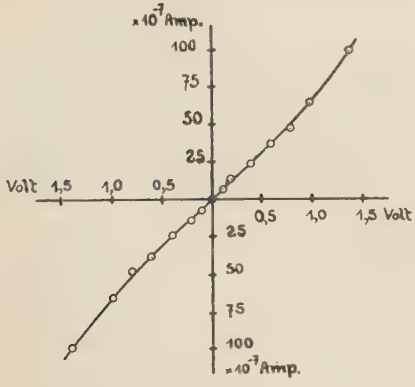

Fig. 3.

Der Widerstand w beträgt hier ca. 153 000 Ohm. Bei einigen aufgenommenen Charakteristiken scheint es, als ob bei höheren Spannungen der Strom etwas stärker als linear ansteigt. Es lässt sich dies aber infolge der Instabilität bei höheren Stromwerten nicht mit Sicherheit feststellen. Wir werden jedoch später zeigen, dass sich theoretisch eine solche leichte Krümmung der Strom-Spannungskurve tatsächlich erwarten lässt. Auf alle Fälle zeigen sämtliche Charakteristiken des Peitschentickers in erster Annäherung einen wesentlich linearen Verlauf. Es darf also der Integralwert w des Widerstandes wenigstens bei kleineren Spannungen als konstant angesehen werden.

II. Schleifdetektoren: Hier liegen die Verhältnisse sehr viel komplizierter. Man muss zwei voneinander wesentlich verschiedene Gruppen unterscheiden:

1) Charakteristiken ohne Gleichrichtereffekt,

2) Charakteristiken mit Gleichrichtereffekt.

Es zeigt sich, dass es in der Hauptsache von der Vorgeschichte des Schleifers abhängt, welche Art von Charakteristiken man erhält. Daraus folgt beim Schleifer auch ein merkwürdiger *Zeiteffekt*, auf den wir unten noch weiter einzugehen haben.

1. *Charakteristiken ohne Gleichrichtereffekt.*

Die übersichtlichsten Verhältnisse (wenigstens beim Telefunkenschleifer) erzielt man, wenn man bei der Messung folgendermassen verfährt: Man stellt mit dem Potentiometer eine Spannung ein und zwar so, dass der Schleifdraht Kathode ist. Dann wird der Ausschlag des Galvanometers abgelesen. Hierauf kommutiert man die Spannung und beobachtet am Galvanometer den sich sofort nach der Kommutierung einstellenden Maximalausschlag. Es zeigt sich, dass der Strom von diesem Höchstwert an rasch abklingt. Ich gebe hier zunächst zwei nach dieser Methode mit dem Telefunkenschleifer aufgenommene Charakteristiken.

Tabelle V. (S. Fig. 4.)

Spannung	0,09	0,19	0.29	0,38	0,54	0,62 Volt
Strom Draht — .	47,5	86,4	116,6	194,9	388,8	$734{,}4\times10^{-7}$ A.
Strom Draht + .	51,8	90,7	116,6	194,9	388,8	$734{,}4\times10^{-7}$ A.

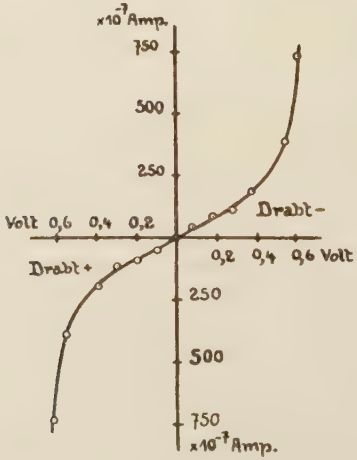

Fig. 4.

Tabelle VI.

Spannung	0,10	0,20	0,39	0,58	0,76	0,94 Volt
Strom Draht — .	13,7	27,4	64,9	222,3	359,1	$509{,}6\times10^{-7}$ A.
Strom Draht + .	13,7	27,4	61,6	239,4	359,1	$513{,}0\times10^{-7}$ A.

Die Tabellen V und VI entsprechen zwei verschiedenen Einstellungen des Schleifdrahtes. Die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe ist bei beiden dieselbe, nämlich 1500 Touren/Min. Da der Draht im Abstand 1 cm von der Drehachse die Scheibe berührte, entspricht dieser Tourenzahl eine lineare Geschwindigkeit von 157 cm/Sek. Die beiden Charakteristiken zeigen denselben Verlauf. Zunächst scheint der Strom sich linear mit der Spannung zu ändern. Zwischen ca. 0,3 bis 0,5 Volt tritt eine gegen die Spannungsachse zu konvexe Krümmung der Charakteristik ein, an die dann wieder ein im wesentlichen lineares Stück anschliesst. Die Stromstärke hängt nur von dem absoluten Betrag der Spannung, hingegen nicht von ihrer Richtung ab.

2. *Charakteristiken mit Gleichrichtereffekt.*

Wesentlich andere Charakteristiken erhält man, wenn, zuerst von Null ausgehend, bei negativem Schleifdraht der eine Kurvenast durchlaufen wird, dann die Spannung während ca. 2 Min. abgeschaltet und bei positivem Schleifdraht der andere Kurventeil aufgenommen wird. Ich gebe hier zwei auf diese Art gewonnene Charakteristiken wieder.

Tabelle VII. (S. Fig. 5.)

Spannung . . .	0,04	0,09	0,18	0,26	0,28	0,37 Volt	
Strom Draht —	58,1	88,9	191,5	393,3	1094	1573×10^{-7} A.	
Spannung . . .	0,05	0,09	0,19	0,29	0,39	0,49	0,59 Volt
Strom Draht +	34,2	68,4	103,6	109,4	109,4	136,8	$136{,}8\times10^{-7}$ A.
Spannung . . .	0,69	0,78	0,98	1,17	1,27	1,34	1,37 Volt
Strom Draht +	136,8	177,8	205,2	307,8	342,0	547,2	1231×10^{-7} A.

Tabelle VIII.

Spannung	0,05	0,09	0,18	0,27	0,35	0,38 Volt
Strom Draht — .	34,2	61,6	147,1	259,9	495,9	1641×10^{-7} A.
Spannung	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,49 Volt
Strom Draht + .	17,1	27,4	34,2	34,8	41,0	$51{,}3\times10^{-7}$ A.
Spannung	0,59	0,79	0,99	1,18 Volt		
Strom Draht + .	61,6	71,8	65,0	$188{,}1\times10^{-7}$ A.		

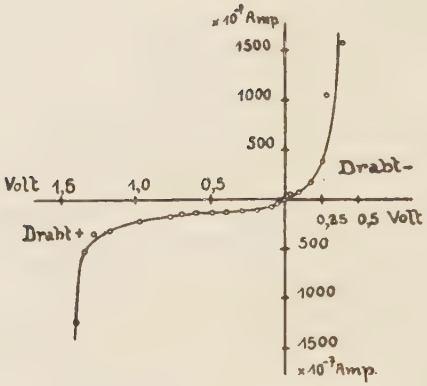

Fig. 5.

Die beiden Charakteristiken Tabelle VII und Tabelle VIII sind am Telefunkenschleifer aufgenommen, und zwar war bei der ersten die Tourenzahl normal (1500/Min.), bei der zweiten betrug sie 700/Min. Trotzdem die Rotationsgeschwindigkeit im zweiten Falle bloss die Hälfte der ersten ist, sind die beiden Kurven in ihrem Charakter sehr ähnlich. Wenn wir den Schleifdraht zur Kathode machen, erhalten wir einen den Charakteristiken Tabelle V (Fig. 4) und Tabelle VI ganz analogen Verlauf der Stromstärke als Funktion der Spannung. Ganz anders liegen jedoch die Verhältnisse, wenn der Schleifdraht Anode ist. Während bei alternierendem Anlegen der Spannung und Beobachten der Höchstausschläge die Stromkurve an der Abszissenachse gespiegelt erscheint, hört hier diese Symmetrie auf. Die Stromwerte sind bei positivem Draht immer kleiner als bei negativem. Der Grund, weshalb die Charakteristiken bei negativem Draht nicht bis zu höheren Spannungswerten aufgenommen wurden, liegt in der Instabilität. Bei diesen hier in Frage kommenden Stromwerten sind die Schwankungen der Galvanometerausschläge bereits derart gross, dass keine vernünftigen Mittelwerte mehr gebildet werden können. Bei positivem Schleifdraht liegt die Sache etwas günstiger. Hier sind die Ausschläge gewöhnlich bis über 1 Volt angelegter Spannung ziemlich ruhig. Dann treten aber immer häufiger ganz spontane Stromschwankungen auf, die sich im Telephon als starkes Knacken und Rasseln bemerkbar machen; dabei schwankt das Galvanometer oft über die ganze Skala, so dass auch hier eine Messung ausgeschlossen ist.

Um ein besseres Mass für die Asymmetrie der Charakteristiken zu erhalten, bilden wir die Werte J_-/J_+, wobei J_+ den Strom

bei positivem Draht, J_- den bei negativem Draht bedeutet. Natürlich sind immer zwei zu gleichen Spannungen gehörige Stromwerte zu nehmen. Die so gewonnenen Zahlen geben uns ein gutes Bild der Gleichrichterwirkung.

Aus Tabelle VII (Fig. 5) folgen die Werte der

Tabelle IX. (S. Fig. 6.)

Spannung .	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20 Volt
J_-/J_+ .	1,5	1,4	1,4	1,4	1,7	1,9	2,2	2,4
Spannung .	0,23	0,25	0,26	0,27	0,28	0,30	0,33 Volt	
J_-/J_+ .	2,9	3,5	4,5	6,2	8,2	10,0	13,3	

Fig. 6.

Aus Tabelle VIII erhält man

Tabelle X.

Spannung .	0,03	0,05	0,07	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20 Volt
J_-/J_+ .	2,7	2,1	2,5	2,6	3,3	3,8	4,7	5,3
Spannung .	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,35	0,37 Volt	
J_-/J_+ .	6,5	6,7	7,7	8,5	9,4	12,1	25,6	

Ein Vergleich der Tabellen IX und X zeigt, dass im zweiten Fall, also bei kleinerer Rotationsgeschwindigkeit, die Gleichrichterwirkung besser wird. Gleichzeitig steigt auch beim Empfang die Lautstärke im Telephon. Diese Tatsache hat uns bewogen, bei der Konstruktion des S. A. C.-Empfängers einen Schleifer mit ganz kleiner Rotationsgeschwindigkeit zu verwenden. Die Aufnahme der Charakteristik ist allerdings bei so langsamer Rotation nicht mehr möglich, da der Strom hier sehr starken Schwankungen ausgesetzt ist. Beobachtet man jedoch das Geräusch im Telephon, das im Tickerkreise liegt, so bemerkt man beim Anlegen einer

Gleichspannung, dass der mittlere Strom bei negativem Schleifdraht sehr viel grösser sein muss als bei positivem.

Diese Gleichrichterwirkung ist übrigens keine Eigenschaft, die sich nur auf die Kombination Gold-Platin beschränkt, sondern scheint bei jedem bewegten, asymmetrisch gebauten Kontakt vorhanden zu sein, wenn auch nicht überall im gleichen Masse. Tabelle XI stellt eine mit dem grossen Versuchsschleifer aufgenommene Charakteristik dar. Hier bestand die rotierende Platte aus Stahl und der Schleifdraht aus einem 0,05 mm dicken Platindrähtchen. In einer Sekunde vollführte die Platte 1,54 Umdrehungen, was bei einem Bahnradius des Schleifdrahtes von 6 cm einer Lineargeschwindigkeit von 58 cm/Sek. entspricht. Die Methode der Aufnahme ist dieselbe wie für Tabelle VII und VIII.

Tabelle XI.

Spannung . . .	0,10	0,20	0,40	0,59	0,78	0,95 Volt	
Strom Draht —	6,8	13,7	27,4	68,4	171,0	$478{,}8 \times 10^{-7}$ A.	
Spannung . . .	0,10	0,20	0,40	0,59	0,79	0,99	1,18 Volt
Strom Draht +	6,8	13,7	27,4	51,3	85,5	119,7	$153{,}9 \times 10^{-7}$ A.

Auch hier haben wir wieder bei positivem Schleifdraht eine schlechtere Leitfähigkeit als bei negativem. Hier sei noch ein Unterschied erwähnt, den alle mit dem grossen Versuchsschleifer (Stahlplatte) aufgenommenen Charakteristiken gegenüber den mit dem Telefunkenschleifer gewonnenen zeigen. Während bei letzterem je nach der Methode der Aufnahme zwei wesentlich voneinander verschiedene Typen von Charakteristiken (vgl. Fig. 4 und 5) erhalten wurden, zeigte der erstere nur solche vom Gleichrichtertypus. Man erhielt immer dieselben Charakteristiken, ob sie nach der ersten oder zweiten Methode aufgenommen wurden.

Um zu entscheiden, ob die Verschiedenheit des Materials der Scheibe und des Schleifdrahts eine wesentliche Vorbedingung für das Auftreten des Gleichrichtereffektes sei, nahm ich auch Charakteristiken auf, bei denen die beiden Elektroden aus Stahl bestanden. Der Schleifdraht hatte hier einen Durchmesser von 0,3 mm. Tabelle XII und XIII stellen zwei solche Charakteristiken dar. Die erste entspricht einer Relativgeschwindigkeit der Platte gegen den Draht von 94,2 cm/Sek., die zweite einer von 56,5 cm/Sek.

Tabelle XII.

Spannung . . .	0,10	0,20	0,29	0,38	0,55	0,72 Volt	
Strom Draht —	10,3	34,2	82,1	171,0	410,4	$718{,}2 \times 10^{-7}$ A.	
Spannung . . .	0,20	0,40	0,60	0,80	1.00	1,20	1,80 Volt
Strom Draht +	20,5	27,4	23,9	20,5	17,1	20,5	$20{,}5 \times 10^{-7}$ A.

Tabelle XIII.

Spannung . . .	0,10	0,19	0,39	0,57	0,76	0,93 Volt
Strom Draht —	17,1	48,7	124,0	233,3	393,3	$615{,}6\times10^{-7}$ A.
Spannung . . .	0,20	0,40	0,60	0,80	1,20	1,80 Volt
Strom Draht +	23,9	20,5	13,7	10,3	10,3	$10{,}3\times10^{-7}$ A.

Bei beiden aufgenommenen Kurven erfolgte, wenn der Schleifdraht Anode war, bei einer Spannung von 1,9 Volt eine plötzliche Änderung in den elektrischen Verhältnissen, indem der Strom ganz unstetig auf einen hohen Wert übersprang. Schon vorher zeigte sich Neigung zu diesem Umklappen der Charakteristik, da öfters starke Stromstösse auftraten. Diese offenbarten sich im Telephon durch ein scharfes Knacken. Beim Beobachten mit dem Telephon während der Aufnahme kann man einen deutlichen Unterschied der beiden Stromrichtungen konstatieren. Ist nämlich der Draht Kathode, so hört man ein gleichmässiges Rauschen, das beim Kommutieren in ein brodelndes Geräusch übergeht.

In den beiden folgenden Tabellen geben wir noch den aus Tabelle XII und XIII abgeleiteten Gleichrichtereffekt.

Tabelle XIV.

Spannung .	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70 Volt
J_-/J_+ .	1,0	1,2	4,0	7,3	13,2	20,7	31,8

Tabelle XV.

Spannung . .	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90 Volt
J_-/J_+ .	1,0	2,0	3,5	6,6	10,2	15,6	24,6	40,8	51,4

Auch hier tritt die Gleichrichterwirkung wie beim Telefunken-Schleifer schon bei ganz kleinen Rotationsgeschwindigkeiten auf. Bei dem Schleifer mit Stahlplatte beobachtet man auch ohne Anlegen einer Spannung einen Galvanometerausschlag, der aber verschwindet, sobald die Platte nicht mehr rotiert. Der Strom hat die Richtung Platte — Spitze und beträgt ca. 5×10^{-7} Amp. Beim Telefunken-Schleifer konnte ein analoger Strom nicht beobachtet werden.

3. *Der Zeiteffekt.*

Die Verhältnisse beim Telefunken-Schleifer werden durch einen Umstand noch wesentlich kompliziert. Wir stellen folgendes Experiment an: Zunächst werde an den Telefunken-Schleifer bei negativem Schleifdraht eine Spannung angelegt und der Strom

während längerer Zeit im Galvanometer beobachtet. Man erhält dann mit Ausnahme von ganz geringen Schwankungen immer denselben Wert. Kommutiert man nun die Spannung, so dass jetzt der Draht positiv wird, so erhält man, wie die oben besprochenen Charakteristiken ohne Gleichrichterwirkung zeigen, im ersten Augenblick denselben Ausschlag, aber in entgegengesetzter Richtung. Dann beginnt aber mit der Zeit der Strom zu sinken und zeigt zunächst ziemliche Schwankungen, die sich aber bald um einen gut definierten Mittelwert gruppieren. Dieser Mittelwert liegt stets tiefer als der zuerst beobachtete Stromwert und ist nach etwa 2—3 Minuten erreicht. Der Effekt ist am besten bei Spannungen zwischen etwa 0,2 und 0,8 Volt zu beobachten. Ich gebe in den folgenden 3 Tabellen für diese Anordnung den Strom als Funktion der Zeit wieder.

Tabelle XVI.
Spannung 0,4 Volt.

Zeit	0	15	30	90	120	180 Sekunden
Strom . . .	171,0	102,6	82,1	82,1	75,2	$78{,}2 \times 10^{-7}$ A.

Tabelle XVII.
Spannung 0,6 Volt.

Zeit	0	15	30	60	90	120	180 Sekunden
Strom . . .	830,4	547,2	478,8	238,4	205,2	239,4	$235{,}1 \times 10^{-7}$ A.

Tabelle XVIII. (S. Fig. 7.)
Spannung 0,8 Volt.

Zeit	0	15	30	60	90	120	180 Sekunden
Strom . . .	1368	1197	1129	1026	1197	1129	1129×10^{-7} A.

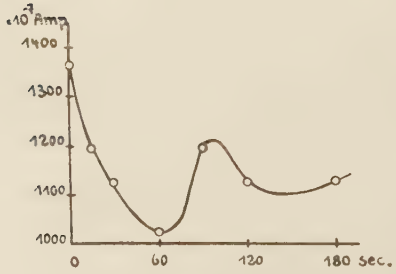

Fig. 7.

Wird der Strom nochmals kommutiert, so dass der Draht wieder negativ ist, so stellt sich fast augenblicklich die erste gute Leitfähigkeit ein. Es scheint also auf den ersten Blick, als ob der von dem Draht zur Platte fliessende Strom für die Ausbildung der schlechten Leitfähigkeit in dieser Richtung verantwortlich zu machen sei, dass also das Primäre, ohne Stromdurchgang, die gute Leitfähigkeit ist. Dass diese Annahme aber falsch ist,

zeigt das folgende Experiment. Man lege an den Schleifer in Richtung Platte — Draht eine Spannung an, kommutiere und beobachte den Höchstwert des Stromes. Dann schalte man die Spannung ab, warte einige Zeit und schalte immer nur für ganz kurze Zeit ein, um den jeweiligen Strom messen zu können. Diese Zeit betrug bei uns nur ca. 3 Sekunden, während deren sich das Galvanometer gut eingestellt hatte. In Tabelle XIX und XX sind zwei solche Messungen wiedergegeben, die unmittelbar nach Aufnahme der Kurven Tabelle XVII resp. XVIII gemacht wurden.

Tabelle XIX.
Spannung 0,6 Volt.

Zeit	0	30	60	90	120	180 Sekunden
Strom . . .	855,0	684,0	513,0	290,7	119,7	$85{,}5 \times 10^{-7}$ A.

Tabelle XX. (S. Fig. 8.)
Spannung 0,8 Volt.

Zeit	0	30	60	90	120	180 Sekunden
Strom . . .	1368	1026	444,6	410,4	342,0	$342{,}0 \times 10^{-7}$ A.

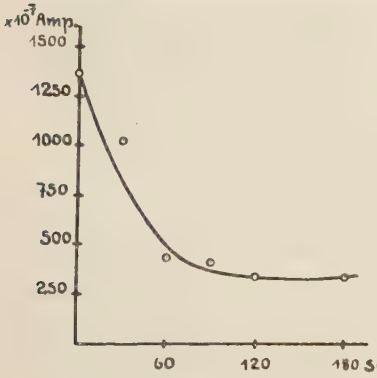

Fig. 8.

Auffallend ist bei diesen Kurven, dass bei fast allen der erste Teil des Stromabfalls linear mit der Zeit erfolgt. In dem untern Teil, also bei kleinen Stromstärken, spielt offenbar die Zeit, während der die Spannung zur Beobachtung des Stromes angelegt werden muss, eine störende Rolle. Denn lässt man die Spannung dann wieder einige Zeit angeschaltet, so steigt der Strom unregelmässig an und zeigt ähnliche Schwankungen wie z. B. in Fig. 8. Auf jeden Fall ist damit nachgewiesen, *dass der Abfall der Leitfähigkeit, die der Schleifer bei Stromdurchgang in Richtung Draht — Platte zeigt, auch eintritt, ohne dass eine Spannung angelegt wird.* Ein Vergleich der Kurven Tabelle XVII resp. XVIII mit den entsprechenden XIX resp. XX zeigt, dass diese Reduktion der Leitfähigkeit sogar noch viel ausgesprochener auftritt, wenn der Schleifer nicht von Strom durchflossen wird.

Es wurden auch Charakteristiken mit dem grossen Schleifer aufgenommen, bei denen der Schleifdraht durch einen Kristall,

vorzugsweise durch Carborund ersetzt worden war. Die Anordnung zeigte dann natürlich schon ruhend Gleichrichterwirkung. Rotierte die Scheibe, so ging der Widerstand stark in die Höhe. Gleichzeitig trat meistens eine Erhöhung der Gleichrichterwirkung auf. Beim Empfang hat es meistens keinen grossen Wert, durch einen schleifenden Kristall die Detekorwirkung zu erhöhen, da die eventuell eintretende Empfindlichkeitssteigerung durch die damit verbundene Widerstandserhöhung meistens wieder paralysiert wird.

Gewisse Überlegungen, die im nächsten Paragraphen auseinandergesetzt werden sollen, führten uns dazu, auch folgende Anordnung auf ihren Gleichrichtereffekt zu untersuchen. Wir liessen einen Quecksilberstrahl aus einem Trichter, der unten in eine Spitze mit runder Öffnung von ca. 0,5 mm Durchmesser ausgezogen war, ausfliessen. In einem festen Stativ wurde ein Platindrähtchen eingespannt und gerade so an den Strahl in der Nähe der Trichtermündung herangebracht, dass dieser es beim Vorbeifliessen leicht streifte. Das Quecksilber war vorher durch Destillation gereinigt und durch Auskochen von Feuchtigkeit befreit worden. Die Stromzuführung zum Quecksilber geschah durch einen blanken Kupferdraht, der im Trichter in dieses eintauchte. Solange wir mit dem Platindrähtchen arbeiteten, war keine Gleichrichterwirkung zu erkennen. Wir vermuteten, dass infolge der leichten Beweglichkeit des Drähtchens dieses vom vorbeifliessenden Strahl in Vibration gesetzt würde und daher beim Hinschwingen gegen den Strahl mit diesem einen metallischen Kontakt bildet. Beobachtungen mit einem Mikroskop bestätigten diese Vermutung auch. Sobald man aber das Platindrähtchen durch eine 2 mm dicke Stahlnadel ersetzte, die vorn in eine ganz feine Spitze zugeschliffen war, zeigte sich sofort Gleichrichterwirkung, und zwar war die Leitfähigkeit in Richtung Strahl — Spitze grösser als in umgekehrter Richtung, ganz genau wie bei den untersuchten Schleifern.

§ 4. Diskussion der Resultate und Erklärungsversuche.

Wir wollen der Übersichtlichkeit halber die im vorigen Paragraphen dargelegten wesentlichsten experimentellen Ergebnisse hier kurz zusammenstellen.

Beim *Peitschenticker* gilt für den Integralstrom mit grosser Annäherung das Ohm'sche Gesetz. Bei höheren Spannungen sind Andeutungen vorhanden, dass der Strom etwas stärker als proportional der Spannung wächst.

Bei den *Schleifdetektoren* müssen im allgemeinen zwei Typen von Charakteristiken streng voneinander unterschieden werden:

1. Charakteristiken ohne Gleichrichtereffekt;
2. Charakteristiken mit Gleichrichtereffekt.

Beiden Typen ist gemeinsam dass für sie das Ohm'sche Gesetz nicht mehr gilt. Liegt eine Charakteristik mit Gleichrichtereffekt vor so beobachtet man immer, dass der grössere Strom fliesst, wenn der Schleifdraht Kathode ist. Type 1 erhält man beim Telefunken-Schleifer durch alternierendes Anlegen der Spannungen und Beobachten der Höchstausschläge des Galvanometers, Type 2 durch gleichsinnige Änderung der Spannung. Besteht die Platte aus Stahl, so kann überhaupt nur Type 2 erhalten werden.

Am einfachsten liegen die Verhältnisse noch beim *Peitschenticker*. Er stellt ein vollkommen symmetrisches Gebilde dar, da ja die eine Peitsche vor der andern in keiner Weise ausgezeichnet ist. Beim Schwingen der beweglichen Peitsche nähern sich die Kontakt gebenden Stellen einander und entfernen sich dann wieder. Dabei wird wahrscheinlich während ganz kurzer Zeit metallischer Kontakt eintreten. Ist die Dauer des metallischen Kontaktes, für den ja streng das Ohm'sche Gesetz gilt, bei allen Spannungen dieselbe, so werden offenbar die gemessenen Integralwerte des Stromes

$$\frac{1}{t}\int_0^t i\,dt$$

ebenfalls diesem Gesetz gehorchen. Wir haben aber bis jetzt eine Erscheinung, die bei dieser Art von Kontaktgebung sicher eine Rolle spielen wird, ausser Acht gelassen. Wir dürfen nämlich die Kontaktstelle bei genauerer Betrachtung nicht als punktförmig voraussetzen, sondern müssen ihr eine, wenn auch kleine Fläche zuschreiben. Dies hat zur Folge, dass wir diese Kontaktflächen, die ja periodisch ihren Abstand ändern, als einen unvollkommenen Kondensator periodisch variabler Kapazität auffassen müssen. Es werden also, je nach dem Kontaktabstand, nach einem Grundgesetz der Elektrostatik sich verschiedene Elektrizitätsmengen auf diesen Flächen ansammeln. Daher werden zwischen den Tickerpeitschen variable Kräfte auftreten, die diese einander zu nähern suchen. Nun ist aber von *Rohmann*[1]) nachgewiesen worden, dass an der Oberfläche von Metallen stets eine Feuchtigkeitsschicht

[1]) *H. Rohmann*, Phys. Ztschr. **21**, 417, 699 (1920).

haftet, die eine gewisse Leitfähigkeit besitzt. Man hat also ganz ähnliche Verhältnisse vor sich wie beim Johnssen-Rahbeck-Effekt[1]). Wir wollen hier eine ganz rohe Abschätzung der Grössenordnung der auftretenden Kräfte vornehmen. Es seien

K die anziehende Kraft zwischen den beiden Kontaktflächen;
F die Fläche der Kontakte (für beide gleich gross);
d der Kontaktabstand;
V die angelegte Spannung;
ε die Dielektrizitätskonstante des Zwischenmediums.

Wenn wir annehmen, dass die Elektrizitätsmenge gleichmässig über die Fläche verteilt ist, was nicht streng richtig ist, aber in erster Annäherung genügt, findet man für die wirksame Kraft

$$K = \frac{\varepsilon F V^2}{8 \pi d^2}$$

Dabei ist alles in CGS-Einheiten auszudrücken (V in elektrostatischen Einheiten). Wir erhalten die Kraft in mg, wenn V in Volt gemessen wird, aus der Beziehung

$$K = \frac{\varepsilon F V^2}{2\,305\,756}$$

Wir machen für die in Betracht kommenden Grössen einmal folgende Annahmen:

$$F = 10^{-5} \text{ cm}^2,$$
$$V = 1 \text{ Volt}$$
$$d = 10^{-5} \text{ cm}.$$

Als Dielektrizitätskonstante der Rohmannschicht sei die des Wassers angenommen, also $\varepsilon = 81$.
Dann wird $K = 3{,}5$ mg.

Dies sind bereits Kräfte, die nicht mehr vernachlässigt werden dürfen. Die elektrostatische Anziehung würde natürlich mit grösserer Annäherung der Kontaktflächen sehr stark anwachsen, wenn nicht noch ein anderer Faktor zu berücksichtigen wäre. Die das Dielektrikum bildende Rohmannschicht darf nämlich nicht als idealer Isolator angesehen werden, sondern besitzt Leitfähigkeit. Wir haben es mit einem unvollkommenen Kondensator zu tun. Dies bewirkt, dass die Kräfte nicht unbegrenzt wachsen können, sondern schliesslich auch mit dem Kontaktabstand gegen Null konvergieren.

[1]) S. z. B. *K. Rottgardt*, Ztschr. f. techn. Phys. **2**, 315 (1921).

Die Kraft K, die mit dem angelegten Potential quadratisch wächst, wirkt der rücktreibenden elastischen Kraft entgegen. Sie hat zur Folge, dass die Kontaktfläche der beweglichen Peitsche länger in der Rohmannschicht verweilt, als wenn die Kraft nicht vorhanden wäre. Die Wirkung wird um so grösser sein, je mehr die elektrostatische Kraft in ihrer Grössenordnung sich der elastischen nähert, d. h. aber, je höher die angelegte Spannung gewählt wird. Es wird also in dem Integral

$$J = \frac{1}{t}\int_0^t i\,dt$$

zu dem auf rein metallischen Kontakt zurückzuführenden Anteil, der, wie wir gesehen haben, eine lineare Charakteristik liefern würde, noch ein Beitrag, der von der Leitung in der Rohmannschicht herrührt, hinzukommen. Dieser kann nun aber mit der Spannung in keinem linearen Zusammenhang stehen, sondern wird mit dieser stärker anwachsen. Wir erhalten somit durch Summation der beiden Anteile eine Charakteristik, die der Spannungsachse ihre konvexe Seite zukehren wird. Wegen der geringen Leitfähigkeit der Rohmannschicht wird die Krümmung natürlich klein sein, und die durch die metallische Berührung bedingte lineare Abhängigkeit des Integralstroms von der angelegten Spannung vorherrschen. Immerhin lassen einige der aufgenommenen Charakteristiken die theoretisch abgeleitete Abweichung vom linearen Verlaufe vermuten, besonders natürlich bei höheren Spannungen.

Man kann den *Peitschenticker* auch noch von einem andern Gesichtspunkt aus betrachten. In Fig. 9 ist ganz roh der Verlauf des Widerstandes als Funktion der Zeit aufgezeichnet während eines Hin- und Zurückschwingens der beweglichen Peitsche. Für $t = 0$ ist der Widerstand unendlich, nimmt dann bei Annäherung der beiden Peitschen stark ab, bleibt in dem Gebiete metallischen Kontaktes konstant und steigt darauf wieder gegen unendlich. In dem Gebiete AB (metallischer Kontakt) gilt für jeden Moment einzeln genommen das Ohm'sche Gesetz streng. In den Gebieten OA und BT ist dies aber nicht mehr der Fall, da hier die Leitung

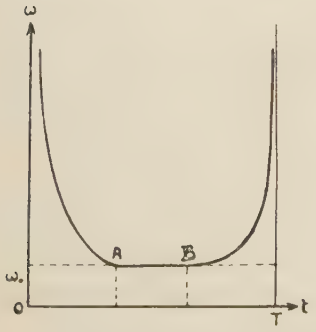

Fig. 9.

in der Rohmannschicht stattfindet, wo sicher kein so einfaches Gesetz gelten wird. Auch sind *OA* und *BT* nicht symmetrisch, da die Ionisierung der Zwischenschicht bei Stromöffnung grösser (bezw. der Widerstand kleiner) sein wird als bei Stromschluss. Wir können deshalb nach dieser Auffassung den Peitschenticker auch ansehen als *Unterbrecher mit nicht ohmischem Kontakt.*

Wesentlich komplizierter gestalten sich die Verhältnisse beim *Schleifdetektor.* Hier tritt im Gegensatz zum gewöhnlichen Peitschenticker eine Gleichrichterwirkung auf. Nun sind wir aber über die Wirkungsweise der meisten auf unipolarer Leitung beruhenden Detektoren noch im Unklaren. Der einzige Detektor, den wir heute wenigstens einigermassen einwandfrei behandeln können, ist die Elektronenröhre mit extrem hohem Vakuum. Sobald nämlich bei konstanter Elektronenemission (bei konstanter Temperatur des Heizfadens) gearbeitet wird, reduziert sich hier das ganze Detektorproblem auf Potentialprobleme. Denn für die Bewegung der Elektronen und somit für den Strom im Detektorkreise sind dann allein die Felder herrührend von der Anode, dem Gitter und der Raumladung massgebend.

Gehen wir nun aber zu der grossen Klasse der Kristall- und Kontaktdetektoren, so sind wir bei der Erklärung ihrer Wirkungsweise meistensteils auf blosse Hypothesen angewiesen. Sicher wird wohl sein, dass mehrere Faktoren wirksam sind. Welcher aber den Ausschlag gibt, ist im Einzelfalle sehr schwer zu entscheiden.

Wenn schon bei den ruhenden Detektoren eine restlos befriedigende Erklärung noch aussteht, so trifft dies in noch erhöhtem Masse für die Klasse der Schleifdetektoren zu. Denn während bei jenen, wenigstens wenn sie nicht mit zu starken Strömen belastet werden, konstante Verhältnisse vorliegen, ist dies bei den letzteren nicht mehr der Fall, da ja die Kontaktstelle in jedem Moment eine andere ist. Die für eine Theorie wichtigsten Beobachtungen an den Schleifern sind kurz die folgenden:

1. Schleift ein Draht auf einer leitenden Scheibe, so fliesst ein Strom leichter, wenn der Draht negativ als wenn er positiv ist.

2. Bestehen Draht und Platte aus demselben Material, so tritt die Gleichrichterwirkung ebenfalls und zwar im gleichen Sinne auf.

3. Der Schleifer zeigt in unbelastetem Zustande eine geringere Leitfähigkeit als in belastetem.

Es fragt sich nun, ob diese Eigenschaften aus den zur Erklärung der unipolaren Leitfähigkeit gewöhnlich herangezogenen Theorien abgeleitet werden können.

Zunächst wäre an einen *thermoelektrischen Effekt* zu denken. Es hat zwar *Ettenreich*[1]) nachgewiesen, dass diese Theorie für die gewöhnlichen Kontaktdetektoren wenig Aussicht hat, da die Kontaktstelle keine nachweisbare Trägheit besitzt, wie sie bei Thermopotentialen zu erwarten wäre. Er konnte nämlich zeigen, dass die Gleichrichterwirkung noch in ihrem vollen Umfange erhalten bleibt, selbst wenn sich zwei entgegengesetzte Stromimpulse innerhalb 2×10^{-7} Sek. folgen. Es hat dann *Holm*[2]) dargetan, dass man unter Umständen die thermoelektrische Theorie dennoch aufrechterhalten kann. Doch beziehen sich seine Überlegungen meistenteils auf Kohlekontakte und dürften wohl nur mit Vorsicht auf Kristalldetektoren angewandt werden. Beim Schleifdetektor könnte man ja zwar allerdings auf den ersten Blick zu einer thermoelektrischen Erklärung geneigt sein. Denn da die rotierende Platte und der Schleifdraht infolge ihres grossen Volumunterschiedes auch grosse Unterschiede in ihren Wärmekapazitäten aufweisen, so wäre bei Stromdurchgang eine Thermokraft an der Kontaktstelle wohl zu verstehen. Immerhin wird für die Ausbildung der Temperaturdifferenz die gute Wärmeleitfähigkeit des Drahtes hinderlich sein. Auch müsste diese Thermokraft, die eine so grosse Gleichrichterwirkung hervorrufen kann, nach längerem Stromdurchgang doch wohl nachweisbar sein. Als der Telefunkenschleifer aber nach längerer Belastung sofort an ein empfindliches Galvanometer angelegt wurde, konnte keine Spur eines Stromes nachgewiesen werden. Ausserdem wäre nicht zu verstehen, weshalb die Kombination Stahlplatte — Stahldraht eher eine bessere Gleichrichtung ergab als das System Goldplatte — Platindraht. Aus allen diesen Gründen scheint uns eine Anwendung der thermoelektrischen Theorie auf den Schleifdetektor nicht möglich.

Auch die *galvanische Polarisation* ist zur Erklärung der Gleichrichterwirkung herangezogen worden, so neuerdings von *Huizinga*[3]). Nach ihm soll die Unipolarität der Stromleitung in den Detektoren von einer elektrolytischen Polarisation in einer den beiden Elektroden adhärierenden Feuchtigkeitsschicht her-

[1]) *R. Ettenreich*, Phys. Ztschr. **21**, 208 (1920).
[2]) *R. Holm*, Ztschr. f. techn. Phys. **3**, 290, 320, 349 (1922).
[3]) *Huizinga*, Phys. Ztschr. **21**, 91 (1920).

rühren. Diese Polarisation sollte sich doch aber wohl nachweisen lassen, was uns ebensowenig gelang wie beim thermoelektrischen Effekt. Auch wäre gar nicht zu verstehen, weshalb bei Verwendung desselben Materials für Platte und Draht trotzdem eine so grosse Unipolarität entsteht. Bei dem Schleifer mit der grossen Stahlplatte scheint allerdings eine Polarisation vorhanden zu sein, da die Platte mit Äther und Alkohol gereinigt wurde und ihr dadurch wahrscheinlich eine ziemlich dicke Feuchtigkeitsschicht anhaftete. Bei der Drehung kommt der Draht in diese Schicht und bildet so ein Element. Dadurch ist der bei der Rotation auftretende Strom erklärt. Bei ruhender Anordnung ist ohmischer Kontakt vorhanden.

Für die theoretische Behandlung der Kristalldetektoren scheinen uns heute eher Überlegungen geeignet, die von der *Elektronentheorie* ausgehen. Wir sind jetzt dank den Fortschritten der Röntgenspektroskopie in der Lage, uns ein Bild über die Verteilung der Atome resp. Ionen in der Oberfläche der Kristalle zu machen. Dies gestattet uns auch, die Austrittsarbeit eines Elektrons aus der Kristalloberfläche zu berechnen. Diese wird natürlich für die verschiedenen Kristalle verschieden gross ausfallen. Das will aber sagen, dass, wenn zwei verschiedene Kristalle sich berühren, der Stromdurchgang in der einen Richtung leichter vor sich geht als in der anderen, es tritt also eine Gleichrichterwirkung auf. Für unser Problem kann auch diese Erklärung nicht in Betracht kommen, da wir es nicht mit natürlichen Kristalloberflächen zu tun haben. Es werden also an der Oberfläche der Platte und des Drahtes, wenn diese aus kristallinen Gebilden zusammengesetzt wären, die Netzebenen ganz verschiedene Orientierungen haben. Ausserdem wird ja die Kontaktstelle infolge der Rotation fortwährend geändert.

Wir möchten viel eher eine Erklärung unserer Beobachtungen versuchen, die eigentlich schon in den ersten Arbeiten von *Braun*[1]) über unipolare Leitung auseinandergesetzt ist. Auch *Zickendraht*[2]) hat auf diese Theorie hingewiesen. *Braun* machte für die Gleichrichterwirkung bei Kontaktdetektoren die Übergangsschicht zwischen den beiden Kristallflächen verantwortlich. Wichtig für die Erklärung unserer Erscheinungen sind auch die Arbeiten von *Hoffmann*[3]), der nachwies,dass bei hohen Feldstärken aus Metallen

[1]) *F. Braun*, Pogg. Ann. **153,** 556 (1874). Wied. Ann. **195** (1877). **4,** 476 (1878). **19,** 340 (1883).

[2]) *H. Zickendraht*, Arch. de Genève **37,** 273 (1914).

[3]) *G. Hoffmann*, Ztschr. f. Physik **4,** 463 (1921). Phys. Ztschr. **22,** 422 (1921).

Elektronen austreten können. Er zeigte auch, dass die Feldstärke, bei der dieser Austritt erfolgt, von der Natur der Elektrodenmaterialien abhängt. Es müssten also zwei Leiter, die aus verschiedenen Metallen bestehen und durch eine dünne dielektrische Schicht voneinander getrennt sind, immer Gleichrichtereigenschaften zeigen.

Nach unserer Meinung haben wir es beim Schleiferproblem mit der Frage des Elektrizitätsüberganges bei sehr kleinen Trennungsstrecken zu tun, mit der wesentlichen Bedingung, dass die Krümmungsverhältnisse an den beiden Elektroden sehr voneinander verschieden sind. Dass die letztere Bedingung sicher erfüllt ist, zeigt schon eine blosse Betrachtung der Elektroden. Die erste Forderung der Trennung der Elektroden durch eine Zwischenschicht wird automatisch durch die Bewegung der Platte erreicht. Während in Ruhe metallischer Kontakt zwischen Platte und Draht besteht (die Charakteristik in Ruhe zeigt linearen Verlauf), wird dieser bei Bewegung der Platte gelockert, der feine Draht vibriert auf der drehenden Platte.

Der Elektrizitätsübergang über sehr kurze Trennungsstrecken ist schon Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Eine Literaturzusammenstellung findet man bei *Broxon*[1]). Alle Forscher finden übereinstimmend, dass ein Elektrizitätsübergang stattfindet, bevor die Elektroden sich vollständig berühren. Über die Grösse des Kontaktabstandes, bei dem der Übergang eintritt, herrschen noch verschiedene Ansichten. Wir möchten hier noch einige andere Arbeiten kurz erwähnen, die uns für das Schleiferproblem von Wichtigkeit scheinen.

Wir meinen zunächst die Arbeiten von *Branly*[2]). Er legte zwischen zwei sorgfältig eben geschliffene Metallplatten ein Glimmerblättchen von 3—4/1000 mm Dicke, derart, dass der Stromdurchgang durch den Glimmer erfolgen musste. Das Blättchen war vorher optisch genau daraufhin untersucht worden, dass es keine Risse und Löcher zeigte. Wurde nun der Glimmer zwischen den beiden Platten unter leichten Druck gesetzt, so zeigte er immer eine gewisse geringe elektrische Leitfähigkeit bei Anlegen einer kleinen Potentialdifferenz (unter 2 Volt). Waren die beiden Platten aus gleichem Metall, so traten beim Kommutieren der Spannung immer entgegengesetzt gleiche Ströme auf. Bei Verschiedenheit der Elektrodenmaterialien liess sich manchmal eine Gleichrichter-

[1]) *J. W. Broxon*, Phys. Rev. **20**, 476 (1922).

[2]) *E. Branly*, C. R. **161**, 759 (1915). **165**, 524 (1917).

wirkung nachweisen. Sehr wichtig für unser Problem scheint mir die folgende Beobachtung Branlys zu sein. Wurde die Spannung zunächst in Richtung des leichteren Stromdurchganges angelegt und dann kommutiert, so war die Leitfähigkeit im ersten Moment gewöhnlich gleich gross wie vor der Kommutierung, sank aber stark im Verlauf einer gewissen Zeit. Dies ist eine Erscheinung, die dem von uns gefundenen Zeiteffekt vollkommen analog ist. Die gleichen Erscheinungen fand Branly für Luft als Trennungsschicht. Bei einer Distanz von ca. 10^{-3} cm und einem Potentialunterschied von etwa 1 Volt trat auch hier Leitfähigkeit auf.

An wichtigen Arbeiten auf diesem Gebiete erwähne ich noch die von *Rother*[1]) und *Hoffmann* (l. c.). Beide finden übereinstimmend, dass ein merklicher Stromübergang bei Potentialgradienten von 10^6 Volt/cm eintritt.

Es sei auch nochmals auf die Untersuchungen von *Rohmann*[2]) hingewiesen. Er findet, dass an der Oberfläche von Metallen immer eine schlecht leitende Schicht von der Dicke 10^{-6} bis 10^{-5} cm, wahrscheinlich eine Wasserhaut sitzt.

Aus alledem gewinnen wir von den Vorgängen am Schleifdetektor folgendes Bild: Die Krümmungsverhältnisse an den beiden Elektroden seien zunächst die gleichen. Feste und bewegliche Elektrode sollen aus demselben Material bestehen. In Ruhe findet zwischen den beiden Elektroden metallischer Kontakt statt. Bei Bewegung wird dieser Kontakt gelockert, und zwischen beweglichen und festen Teil schiebt sich die Rohmannschicht. Beim Anlegen einer Spannung besteht nun infolge der gleichen Krümmungsverhältnisse derselbe Potentialgradient an der Oberfläche der beiden Elektroden. Im wesentlichen käme dann für die Leitung nur die verhältnismässig schlechte Leitfähigkeit der Rohmannschicht in Frage, die sehr wahrscheinlich auf einem Ionentransport beruht. Bei höheren Spannungen spielt aber auch der von Hoffmann (l. c.) gefundene Elektronenaustritt aus der Kathode eine Rolle.

Wir machen nun die *Hypothese*, dass die austretenden Elektronen die Leitfähigkeit der Rohmannschicht erhöhen (vielleicht durch Ionisation). Dann würde zwar zunächst diese Erhöhung der Leitfähigkeit bei der gleichen angelegten Spannung erfolgen, ob die feste oder die bewegliche Elektrode Kathode ist. Dennoch könnte vielleicht eine Gleichrichterwirkung resultieren, da bei Aus-

[1]) *Fr. Rother*, Leipziger Dissertation (1914). Phys. Ztschr. **23**, 423 (1922).
[2]) *H. Rohmann*, Phys. Ztschr. **21**, 417, 699 (1920).

tritt der Elektronen aus der beweglichen Elektrode der Teil der Rohmannschicht, in den sie eindringen, durch die Bewegung sofort weggeführt wird. Ist jedoch die feste Elektrode Kathode, so tritt die Erhöhung der Leitfähigkeit durch das Eindringen der Elektronen zunächst in einer Schicht auf, die an dieser Elektrode haftet. Es resultiert daher bei der gleichen angelegten Spannung ein grösserer Strom, wenn die feste Elektrode Kathode ist, als wenn es die bewegliche ist.

Anders gestalten sich die Verhältnisse, sobald die eine Elektrode gegenüber der andern grosse Unterschiede der Krümmung aufweist, wie dies ja bei den untersuchten Schleifdetektoren tatsächlich der Fall ist. Das Feld zwischen Platte und festem Schleifdraht darf nicht mehr als homogen angesehen werden. Am Draht, wo die Krümmung viel grösser ist, wird der Potentialgradient auch grösser sein[1]). Die Elektronen treten also bei negativem Draht eher aus als bei negativer Platte. Es zeigt sich eine Gleichrichterwirkung und zwar so, dass der Strom leichter in Richtung Platte — Draht fliesst als umgekehrt, was tatsächlich den Beobachtungen entspricht.

Die Hypothese der Leitfähigkeitserhöhung durch Eindringen von Elektronen in die Zwischenschicht wird uns auch nahe gelegt durch die oben erwähnten Untersuchungen Branlys. Die austretenden Elektronen selbst würden wohl kaum ausreichen, den beobachteten Anstieg der Leitfähigkeit ausreichend zu erklären. Man muss wohl eine Ionisation der Zwischenschicht annehmen, die durch diese Elektronen erzwungen wird. Dass es sich um einen derartigen Vorgang handelt, lässt auch der gefundene Zeiteffekt schliessen, ebenso die analoge Beobachtung Branlys. Wird, nachdem der Draht Kathode war, die Spannung abgeschaltet, so geht die Leitfähigkeit von selbst wieder zurück. Man muss diesen Vorgang als eine Rekombination der leitenden Teilchen auffassen. Durch unsere Auffassung wird auch erklärt, weshalb diese Rückbildung der Leitfähigkeit viel weiter vor sich geht, wenn gar keine Spannung angelegt ist, als wenn die Platte Kathode ist. Denn es werden bei der Rotation der Platte sicher auch Stellen dem Drahte gegenüber kommen, wo infolge submikroskopischer Unebenheiten an ihrer Oberfläche die Krümmung genügt, um bei derselben Spannung wie am negativen Draht den Elektronenaustritt zu ermöglichen. Dadurch scheint natürlich die Leitfähigkeit auch in dieser Richtung

[1]) *W. Schottky*, Ztschr. f. Phys. **14**, 63 (1923).

etwas erhöht gegenüber dem Zustande, wo das Feld abgeschaltet bleibt.

Wird bei negativer Platte die Spannung immer erhöht, so wird natürlich auch der Moment kommen, wo die Elektronen austreten können und man erhält auch einen starken Anstieg des Stromes in Richtung Draht — Platte.

Durch unsere Anschauungen werden also, wie ersichtlich, die beobachteten Erscheinungen wenigstens qualitativ erklärt. Schwierigkeiten bereitet nur, dass man annehmen müsste, die Rekombinationsgeschwindigkeit sei abhängig von der Natur der einschliessenden Elektroden. Zu dieser Annahme zwingt uns die Beobachtung, dass der Rückgang der Leitfähigkeit verschieden rasch erfolgt, je nach dem Material von Platte und Draht (bei Au-Pt langsam, bei Stahl-Pt und Stahl-Stahl sehr rasch). Immerhin dürfen wir diese Annahme nicht ohne weiteres zurückweisen, da wir über Rekombination in sehr dünnen Lamellen noch sehr wenig wissen.

Bestehen die Elektroden aus verschiedenen Metallen, so wird sich zu der von uns angenommenen Asymmetrie infolge der Krümmungsverhältnisse noch der von Rother und Hoffmann nachgewiesene Unterschied der Austrittsarbeiten bei verschiedenen Metallen addieren. Geschieht der Austritt leichter aus dem Metall des Drahtes, so wird die Charakteristik verbessert (Gleichrichtereffekt grösser), sonst verschlechtert.

Bei Anlegen einer Hochfrequenzspannung an den Schleifer werden im wesentlichen die Verhältnisse die gleichen bleiben. Bei negativem Draht werden leichter Elektronen austreten als bei negativer Platte. Wie sich der gefundene Zeiteffekt bei diesen hohen Frequenzen verhält, müsste noch gesondert untersucht werden. Wahrscheinlich spielt hier noch der Umstand eine Rolle, dass bei negativer Platte die Rohmannschicht, in die die Elektronen eindringen, durch die Rotation weggeführt wird, hingegen bei negativem Draht zunächst der Teil in Betracht kommt, der am Drahte haftet. Dass der Zeiteffekt immerhin noch vorhanden ist, wenn auch vielleicht in geringem Masse, lässt die Tatsache vermuten, dass der Schleifer auf grösseren Wellen (kleinere Frequenzen) besser arbeitet als auf kurzen.

Zweites Kapitel.

Empfindlichkeitsbestimmung von Ticker, Schleifer und Schwingaudion.

§ 1. Allgemeines zur Messung.

Da für den zu bauenden Empfänger als Detektoren bloss Ticker und Schleifer in Betracht kommen, indem die Verwendung von Röhren wegen der unvermeidlichen Heiz- und Anodenbatterien von vorneherein ausschied, war es nötig, einen Empfindlichkeitsvergleich der verschiedenen in Frage kommenden Indikatoren unter sich und mit dem Schwingaudion durchzuführen. In der Literatur konnte ich keine diesbezüglichen Angaben finden. Von vorneherein lässt sich natürlich sagen, dass das Audion dem Ticker und Schleifer bei weitem überlegen sein wird.

Man könnte zunächst daran denken, zur Messung das bekannte *Parallelohmverfahren* zu verwenden. Die Methode hat aber zwei prinzipielle Nachteile. Erstens weichen durch Parallelschalten eines kleinen Widerstandes zum Telephon die Betriebsbedingungen im Detektorkreis von denen bei normalem Empfang ab. Zweitens misst man ja dadurch eigentlich nur Lautstärken für ein und dieselbe Erregung und nicht die Hochfrequenzamplitude, auf die der Detektor gerade noch anspricht.

Man könnte auch mit Hilfe eines *Potentiometers* eine Hochfrequenzspannung bekannter Grösse abgreifen und diese so lange verkleinern, bis der Detektor gerade noch anspricht. So einfach im Prinzip diese Anordnung scheint, so wenig genaue Resultate liefert sie. Es ist nämlich sehr schwierig, bei dieser Spannungsteilerschaltung kapazitive Ströme zu vermeiden, die die Messresultate ungemein fälschen können[1]).

Wir entschlossen uns deshalb, die erforderlichen Hochfrequenzspannungen durch *Variieren der rein induktiven Kopplung* zwischen Sender und Empfänger herzustellen. Da für unsere Zwecke nur relative Messungen in Betracht kamen, so liefert die Bestimmung des gegenseitigen Kopplungskoeffizienten von Sender und Empfänger bei Verschwinden der Zeichen ein Mass für die Empfindlichkeit der verschiedenen Detektoren. Um diesen Vergleich durchführen zu können, war es nötig, eine Methode zur Messung extrem loser Kopplungen auszubilden.

[1]) *H. G. Möller* und *R. Schrader:* Jahrb. d. Drahtl. Telegr. **22,** 62 (1923).

§ 2. Diskussion der Methoden zur Messung von Kopplungskoeffizienten.

Es seien L_1 und L_2 die Selbstinduktionskoeffizienten der beiden gekoppelten Kreise,

L_{12} der Koeffizient der gegenseitigen Induktion der beiden Spulen.

Dann wird der Kopplungskoeffizient

$$\varkappa = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Zur Bestimmung des Kopplungskoeffizienten müssen also immer L_1, L_2 und L_{12} oder drei mit diesen Grössen in bekanntem Zusammenhang stehende Grössen gegeben sein.

Man kann die Bestimmung von L_{12} auf die Messung zweier Induktionskoeffizienten zurückführen. Schaltet man nämlich die beiden Spulen, deren L_{12} bestimmt werden soll, einmal so, dass ihre Felder gleichgerichtet sind, und dann so, dass diese einander entgegenwirken, so ist, wenn L_+ resp. L_- die gemessenen Induktionskoeffizienten für die beiden Spulenkombinationen sind,

$$L_+ = L_1 + L_2 + 2\,L_{12}$$
$$L_- = L_1 + L_2 - 2\,L_{12}$$

also

$$L_{12} = \frac{L_+ - L_-}{4}$$

Es ist nun aber ohne weiteres ersichtlich, dass bei kleinen gegenseitigen Induktionen relativ geringe Fehler in der Messung von L_+ resp. L_- stark in das Endresultat eingehen werden. Für extrem lose Kopplungen lässt sich deshalb dieses Verfahren, wenn L_+ und L_- mit der *Wechselstrombrücke* gemessen werden, kaum anwenden.

Dieselben Nachteile finden wir beim *Resonanzverfahren*. Hier kombiniert man einen variablen Kondensator mit

I. Spule L_1 allein,
II. Spule L_2 allein,
III. $L_1 + L_2 + 2\,L_{12}$ (Addition der Felder),
IV. $L_1 + L_2 - 2\,L_{12}$ (Subtraktion der Felder)

zu einem Schwingungskreise und stellt den Kondensator so ein, dass in allen Fällen Resonanz mit derselben Wellenlänge stattfindet. Die entsprechenden Kapazitäten seien C_1, C_2, C_3 und C_4. Dann ergibt eine einfache Rechnung, dass

$$\varkappa = \frac{1}{4}\,\frac{C_4 - C_3}{C_3 C_4}\,\sqrt{C_1 C_2}$$

Für kleine Kopplungen wird $C_4 \sim C_3$. Kleine Fehler in C_4 resp. C_3 gehen also stark in das Resultat ein.

Ungünstig für kleine Kopplungen wird auch die *Spannungsmessung* über den Spulen L_1 und L_2, wenn L_1 von einem Wechselstrom durchflossen wird. Sind e_1 resp. e_2 diese Spannungen, so ist bekanntlich

$$L_{12} = L_1 \frac{e_2}{e_1}$$

Bei losen Kopplungen ist e_2 sehr klein, so dass man, um noch messen zu können, e_1 sehr hoch wählen muss, ein Verfahren, das auch seine praktischen Grenzen hat.

Aus denselben Gründen kann die Methode der *Kopplungswellen* hier nicht in Frage kommen, da die beiden Wellen viel zu nahe aneinander zu liegen kämen, um noch mit genügender Genauigkeit messbar zu sein.

$\varkappa$ lässt sich auch aus *Dämpfungsmessungen* ableiten. Obwohl man damit unter Umständen etwas weiterkommen kann als mit den oben angeführten Methoden, erhält man bei sehr losen Kopplungen ebenfalls keine befriedigenden Resultate mehr. Ausserdem sind dazu grössere Energiemengen erforderlich.

Ein sehr hübsches Verfahren, das auf einer Kompensationsmethode beruht, ist von *Möller* und *Schrader* (l. c.) ausgebildet worden. Die Messung ist aber ziemlich umständlich und scheint mir, besonders bei sehr kurzen Spulen, systematische Fehler zu ergeben.

§ 3. Eine Schwebungsmethode zur Messung von extrem losen Kopplungen.

Wir haben für unsere Zwecke eine Schwebungsmethode zur Messung extrem loser Kopplungen ausgebildet, über die wir schon früher einmal berichtet haben[1]). Sie besitzt bei aller Einfachheit der Messung eine sehr hohe Empfindlichkeit. Die Idee der Benützung von Schwebungen zu derartigen Zwecken lag nahe, nachdem schon sehr genaue Methoden zur Kapazitätsbestimmung auf diesem Prinzip fussend ausgebaut worden waren.

[1]) *H. Zickendraht* et *K. Baumann:* La détermination du coefficient d'accouplement d'après une méthode de battements. Archives de Genève, 5me Per., Vol. **4**, 379 (1922).

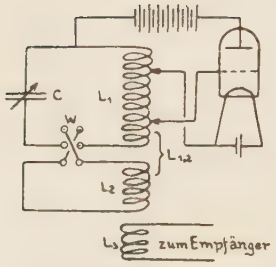

Fig. 10.

Wir benutzten folgende Anordnung (s. Fig. 10). Mittels einer Telefunken-Röhre (Type EVE 173) wurde der Kreis CL_1L_2 zu ungedämpften Schwingungen angeregt. Wie die Figur zeigt, verwendeten wir die gewöhnliche Spannungsteilerschaltung. Es sind C ein Drehkondensator, L_1 und L_2 die beiden Zylinderspulen, deren Kopplungskoeffizient bestimmt werden soll. Die Wippe W erlaubt, die Felder der Spulen L_1 und L_2 gleich- oder entgegengesetzt gerichtet zu schalten. L_2 liess sich auf einem Schlitten in der Richtung der gemeinsamen Achse gegen L_1 verschieben. Die Entfernung der beiden Spulenmitten konnte auf einer an dem Tisch angebrachten Skala abgelesen werden. Als Anodenbatterie verwendeten wir ein Element einer Zehnder'schen Hochspannungsbatterie, das eine Spannung von 80 Volt gab. Die in diesem Kreise erregten Schwingungen wurden mittels eines Rückkopplungsaudions abgehört. Sender und Empfänger waren in geschlossenen Eisenblechkästen untergebracht, aus denen nur die Spulen L_1 und L_2, resp. die Empfangskopplungsschleife L_3, die aus einem Drahtbügel bestand, herausragten. Die Kästen waren durch möglichst kurze Drähte geerdet. Der Kondensator des Empfängers konnte von aussen durch einen isolierten Stab leicht eingestellt werden. Die durch den Kasten abgeschirmte Selbstinduktion des Empfängers bestand aus einer geeigneten mehrlagigen Spule, ebenso die Rückkopplungsspule, die auf maximale Empfindlichkeit eingestellt wurde.

Die Messung wird nun folgendermassen durchgeführt. Nachdem Sender- und Empfängerröhre während etwa einer Viertelstunde eingeschaltet worden sind, um konstante Verhältnisse zu erzielen, erzeugt man im Telephon durch passende Wahl der Empfangskapazität einen Schwebungston, der mittels einer Normalstimmgabel auf $\bar{a}$ abgeglichen wird. Beim Umlegen der Wippe ändert sich im Senderkreis die Selbstinduktion und damit auch die Höhe des Schwebungstons im Empfänger. Wird ausserdem die Wellenlänge des Senders bei Entkopplung der Spulen L_1 und L_2 gemessen, so kann, wenn die Selbstinduktionskoeffizienten der Spulen L_1 und L_2 bekannt sind, aus der Änderung des Schwebungstones L_{12} und damit auch $\varkappa$ berechnet werden.

Es seien L_1 und L_2 die Selbstinduktionskoeffizienten der beiden Messpulen,

L_{12} ihr gegenseitiger Induktionskoeffizient,
ν_A die Frequenz des Schwingaudions,
ν_+, ν_- die Frequenz des Senders bei gleich- resp. entgegengesetzt gerichteten Feldern der Spulen L_1 und L_2,
C die wirksame Kapazität im Senderkreis.

Bezeichnen wir abkürzend

$$\frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi} = a$$

und messen die Selbstinduktionen elektromagnetisch, die Kapazitäten elektrostatisch in cm, dann wird nach der Thomson'schen Formel

$$\nu_+ = \frac{a}{\sqrt{C(L_1 + L_2 + 2L_{12})}}$$

$$\nu_- = \frac{a}{\sqrt{C(L_1 + L_2 - 2L_{12})}}$$

Durch Interferenz mit den Schwingungen des Rückkopplungsaudions entstehen Schwebungstöne der Frequenz

$$N_+ = |\nu_A - \nu_+|$$
$$N_- = |\nu_A - \nu_-|$$

Es folgt unmittelbar, dass immer

$$\nu_- > \nu_+$$

Man hat nun folgende Fälle zu unterscheiden:

I. $\nu_A > \nu_- > \nu_+$, dann ist $N_+ > N_-$,
II. $\nu_- > \nu_+ > \nu_A$, „ „ $N_- > N_+$,
III. $\nu_- > \nu_A > \nu_+$ es kann $N_+ \gtreqless N_-$ sein.

Fall I und II können wir zusammen weiter behandeln. Man bilde die Differenz der Schwebungstöne

$$N = |N_+ - N_-| = \nu_- - \nu_+ =$$
$$\frac{a}{\sqrt{C}}\left[\frac{1}{\sqrt{L_1 + L_2 - 2L_{12}}} - \frac{1}{\sqrt{L_1 + L_2 + 2L_{12}}}\right]$$

Wir schreiben diesen Ausdruck in der folgenden Form:

$$N = \frac{a}{\sqrt{C(L_1 + L_2)}}\left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{2L_{12}}{L_1 + L_2}}} - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2L_{12}}{L_1 + L_2}}}\right] \quad 1)$$

Bei losen Kopplungen ist $2L_{12}$ immer klein gegen $L_1 + L_2$, wir dürfen also die Klammer entwickeln. Es wird

$$N = \frac{a}{\sqrt{C\,(L_1 + L_2)}}\left[1 + \frac{L_{12}}{L_1 + L_2} + \frac{3}{2}\left(\frac{L_{12}}{L_1 + L_2}\right)^2 + \frac{5}{2}\left(\frac{L_{12}}{L_1 + L_2}\right)^3 + \ldots . - 1 + \frac{L_{12}}{L_1 + L_2} - \frac{3}{2}\left(\frac{L_{12}}{L_1 + L_2}\right)^2 + \frac{5}{2}\left(\frac{L_{12}}{L_1 + L_2}\right)^3 - \ldots .\right] \qquad 1a)$$

oder indem wir bei den Gliedern dritter Ordnung abbrechen

$$N = \frac{a}{\sqrt{C\,(L_1 + L_2)}}\left[2\,\frac{L_{12}}{L_1 + L_2} + 5\left(\frac{L_{12}}{L_1 + L_2}\right)^3\right]$$

In erster Näherung genügt es, bloss das erste Glied der Klammer zu berücksichtigen. Führen wir noch das arithmetische Mittel der beiden Selbstinduktionen ein

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

so wird der erste Näherungswert der gegenseitigen Induktion

$$[L_{12}]_1 = N\,\frac{\sqrt{C\,(L_1 + L_2)}}{a} \cdot L \qquad 2)$$

Liegt im Senderkreis kein geeichter Kondensator und sind ausserdem die Spulenkapazitäten nicht bekannt, so empfiehlt es sich, den Ausdruck 2) etwas umzuformen. Bei vollständiger Entkopplung der beiden Spulen L_1 und L_2 ist die Wellenlänge λ_0 des Senders (in Metern)

$$\lambda_0 = \frac{2\,\pi}{100}\,\sqrt{C\,(L_1 + L_2)}$$

Also geht der Ausdruck 2) über in

$$[L_{12}]_1 = N \cdot L \cdot \lambda_0 \times 10^{-8} \qquad 2\,a)$$

Die Entwicklung 1 a) konvergiert immer, sobald

$$\frac{2\,L_{12}}{L_1 + L_2} < 1$$

ist. Nun ist leicht zu zeigen, dass dies für alle Kopplungen der Fall ist. Denn es gilt sicher

$$\varkappa = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1\,L_2}} < 1$$

($\varkappa = 1$ schliessen wir als nicht realisierbar aus). Da das arithmetische Mittel zweier Grössen immer grösser oder höchstens gleich ihrem geometrischen Mittel ist, gilt erst recht

$$\frac{2\,L_{12}}{L_1 + L_2} < 1$$

Die Entwicklung 1 a) ist daher immer möglich. Sollte die erste Näherung nicht genügen, so rechnet man mit dem ersten Näherungswert $[L_{12}]_1$ einen verbesserten Wert. Aus der Entwicklung folgt

$$[L_{12}]_2 = \frac{N\sqrt{C(L_1+L_2)}}{a}\cdot L - \frac{5}{8}\left(\frac{[L_{12}]_1}{L}\right)^3 L$$

oder unter Berücksichtigung von 2)

$$[L_{12}]_2 = [L_{12}]_1 - \frac{5}{8}\left(\frac{[L_{12}]_1}{L}\right)^3 L \qquad 3)$$

Der Kopplungskoeffizient ist dann bestimmt durch

$$\varkappa = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

Wir wollen noch kurz die Grösse des Korrektionsgliedes in 3) abschätzen. Unsere Methode ist speziell zur Messung von kleinen Kopplungskoeffizienten (etwa abwärts von 0,1) geeignet. Es ist, wie oben schon gesagt,

$$\frac{L_{12}}{L} < \varkappa$$

Somit wird für eine Kopplung von 10% das Korrektionsglied

$$\frac{5}{8}\left(\frac{[L_{12}]_1}{L}\right)L < \frac{5}{8000}L$$

d. h. kleiner als $^1/_{1000}$ vom arithmetischen Mittel der beiden Spulenselbstinduktionen. Für $K = 0{,}01$ ist die Korrektur

$$< \frac{5}{8\,000\,000}L$$

Liegt Fall III vor, d. h. ist $\nu_- > \nu_A > \nu_+$, so wird

$$N_- = \nu_- - \nu_A$$
$$N_+ = \nu_A - \nu_+$$

Um also die in der Rechnung auftretende Differenz $\nu_- - \nu_+$ zu erhalten, muss man die Summe der beiden Schwebungstöne bilden. Dann gelten alle oben abgeleiteten Formeln auch für diesen Fall.

Ob Fall I, II oder III vorliegt, lässt sich durch folgendes Verfahren sehr leicht feststellen. Man beobachtet für beide Stellungen der Wippe den Sinn der Änderung des Schwebungstones bei Vergrösserung der Kapazität im Senderkreis. Diese Kapazitätsvergrösserung kann gut durch Nähern der Hand gegen eine der Messpulen erreicht werden. Aus der Definition des Schwebungstones folgt dann sofort, dass den verschiedenen Fällen die nachstehenden Änderungen entsprechen.

Fall I: Der Schwebungston steigt sowohl für gleich- als für entgegengesetzt gerichtete Felder;

„ II: Der Schwebungston fällt sowohl für gleich- als auch für entgegengesetzt gerichtete Felder;

„ III: Der Schwebungston steigt für gleich- und fällt für entgegengesetzt gerichtete Felder.

Bei etwas grösseren Kopplungen empfiehlt es sich, ν_A nach Fall III einzustellen, da sonst bei Fall I und II hier der Schwebungston beim Umlegen der Wippe ausserhalb des Hörbarkeitsbereiches zu liegen käme. Man kann dann ν_A gerade so wählen, dass beim Umlegen sich der Ton nicht ändert. Die Tonhöhe haben wir durch Vergleich mit Stimmgabeln ermittelt.

Aus 2 a) folgt, dass für ein bestimmtes L_{12} bei gleichem L_{12} die Grösse $\lambda_0 N$ konstant ist. Die Änderung N des Schwebungstones beim Umlegen ist also umgekehrt proportional der Wellenlänge λ_0 bei Entkopplung der Spulen. Da L für ein gegebenes Spulenpaar konstant ist, empfiehlt es sich also, bei Messung von sehr losen Kopplungen wenig Kapazität im Senderkreis zu verwenden.

Ich gebe im folgenden die Eichung unserer Anordnung zum Empfindlichkeitsvergleich der verschiedenen Tickerarten unter sich und mit dem Schwingaudion wieder. Die Selbstinduktionen der beiden Messpulen, die aus Litzendraht gewickelt waren, ergaben sich aus Brückenmessungen und Bestimmungen der Eigenwellenlängen bei Zusammenschalten mit einer bekannten Kapazität (natürlich unter Berücksichtigung der Spulenkapazitäten) zu

$$L_1 = 1\,449\,400 \text{ cm}$$
$$L_2 = \quad 73\,900 \text{ cm}.$$

λ_0 wurde mittels eines Präzisionswellenmessers zu 2910 m bestimmt. Wir möchten hier noch ausdrücklich darauf hinweisen, dass Messungen mit einem Wellenmesser bloss mit den diesem speziell beigegebenen Hilfsmitteln (Telephone, Detektoren, Summer etc.) gemacht werden dürfen. Werden andere Apparate benutzt, so ändern sich dadurch die Konstanten des Wellenmesserschwingungskreises (Kapazität, Dämpfung) derart, dass die beigegebenen Eichkurven nicht mehr gelten. Zur Messung von Wellenlängen bei ungedämpften Emissionen und so kleiner Energie, dass das dem Wellenmesser eingebaute Hitzdrahtinstrument nicht mehr anspricht, ist folgendes Verfahren vorteilhaft zu verwenden. Es wird ein aperiodischer Kreis mit Detektor und Telephon sehr lose

mit dem zu messenden Sender und der Wellenmesserspule gekoppelt. Der Wellenmesser wird mit dem Summer erregt und seine Frequenz so lange verändert, bis im Telephon das typische Überlagerungsgeräusch auftritt. Die Ablesung am Wellenmesser ergibt dann unmittelbar die Wellenlänge des Senders.

Als N_- wurde durch Vergleich mit einer Stimmgabel das $\bar{a} = 435{,}0$ Schwing./Sek. eingestellt. Nach Umlegen der Wippe vergleicht man den Schwebungston wieder und stellt das Intervall der beiden Töne fest, was nach einiger Übung keine grossen Schwierigkeiten bietet. Wir arbeiteten mit Ausnahme der engsten Kopplung, wo $\nu_- > \nu_A > \nu_+$ gewählt wurde, immer nach Fall I. Die folgende Tabelle gibt die Messung wieder.

Tabelle XXI. (Fig. 11.)

Distanz	N	L_{12}	$\varkappa$ in %
149,7 cm	8,3	18,4 cm	0,0056
129,7	11,1	24,6	0,0075
99,7	25,9	57,4	0,018
74,7	53,5	118,6	0,036
59,7	82,3	182,4	0,056
49,7	146	323,6	0,099
41,7	217	481,0	0,15
34,7	340	753,6	0,23
31,7	435	964,1	0,29
23,7	869	1926	0,59
19,7	1305	2892	0,88
17,7	1634	3622	1,1
9,7	4922	10910	3,3

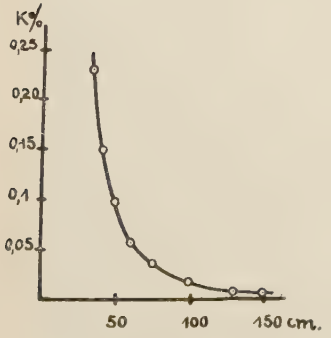

Fig. 11.

Die Korrektur durch Berücksichtigung des Gliedes höherer Ordnung macht im ungünstigsten Fall ca. $1\,^0/_{00}$ aus. In der Fig. 11 sind die kleineren Werte von K als Funktion des Abstandes der Spulenmitten aufgetragen.

Anmerkung: In der ersten Publikation dieser Methode (l. c.) ist aus Versehen an Stelle von

$$T_1 = 2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2 + 2L_{12})}, \qquad T_1 = 2\pi\sqrt{C(L_1 + L_2 + L_{12})}$$

gesetzt worden, ebenso für den Ausdruck T_2. Die gerechneten $\varkappa$ sind deshalb alle zu gross.

§ 4. Empfindlichkeitsvergleich der verschiedenen Ticker und Schleifer unter sich und mit dem Schwingaudion.

Der nach obigem Verfahren geeichte Kopplungsschlitten wurde nun zur Empfindlichkeitsmessung der verschiedenen Detektoren für ungedämpfte Schwingungen verwendet. Die Enden der Spule L_2 führten wir durch kleine Öffnungen in den Blechkasten, wo in Serie zu L_2 eine mehrlagige Zylinderspule geschaltet war. Sie wurden mit einem von aussen fein einstellbaren Drehkondensator zu einem Kreise vereinigt, der auf die Senderschwingung abgestimmt werden konnte. An diesen Kondensator legten wir in direkter Schaltung das Audion oder die andern Detektoren an. In der Anodenleitung des Senders befand sich eine Morsetaste. Es wurden nun mit dem Sender auf automatischem Wege Zeichen gegeben und der Kopplungsschlitten nach Einstellen der Resonanz am Empfänger so lange verschoben, bis die Zeichen im Telephon verschwanden. Der Kopplungskoeffizient zwischen den beiden Spulen L_1 und L_2 gibt dann ein Mass für die Empfindlichkeit des betreffenden Detektors.

Für den drahtlosen Verkehr kommt aber nicht diese so definierte Empfindlichkeit in Betracht. Infolge der immer vorhandenen atmosphärischen Störungen muss die Lautstärke im Telephon wesentlich höher als die Grenze der Hörbarkeit gewählt werden. Hier eine genau definierte Lautstärke anzugeben, fällt natürlich schwer. Doch glauben wir nach langjähriger Erfahrung in der Aufnahme von drahtlosen Signalen eine Lautstärke schätzen zu können, die erforderlich ist, um an einem Sommertage mit mittlerer Störungstätigkeit einen Text einwandfrei abhören zu können. Bei dieser Lautstärke wurde die Kopplung ebenfalls abgelesen. Man muss dabei allerdings berücksichtigen, dass es viel schwieriger ist, das Tickergeräusch aus den Störungen herauszuhören als den reinen Ton beim Schwebungsempfang.

Beim Audion war es nur möglich, diese letztere Betriebsempfindlichkeit zu messen. Es zeigte sich nämlich, dass die Telephonzuleitungen, die ja unbedingt aus dem Blechkasten herausgeführt werden mussten, selbst schon aus dem Strahlungsfeld Energie aufnahmen, die bei fast vollständiger Entkopplung der Spulen gegen den Teil, den diese absorbierten, wesentlich in Betracht kam. Man konnte dies leicht durch Abschirmen der Messpule nachweisen. Doch lässt auch die angegebene Betriebsempfindlichkeit einen Vergleich mit den anderen Detektoren zu.

In der folgenden Tabelle sind die für die Empfindlichkeiten der verschiedenen Detektoren massgebenden Kopplungskoeffizienten angeführt. Die Sendewelle betrug 3200 m. Der Heizstrom des Senders war auf 0,55 Amp. eingestellt, die Anodenspannung betrug 27 Volt. Beide Daten wurden während der Messung stets kontrolliert und konstant gehalten. Als Fernhörer wurde stets ein Telephon von Telefunken (Bezeichnung TTG) verwendet, zu welchem ein Blockkondensator von ca. 1200 cm parallel geschaltet war. $\varkappa_0$ bedeutet die Kopplung bei vollständigem Verschwinden der Zeichen, $\varkappa_B$ bei der oben erwähnten Betriebslautstärke.

Tabelle XXII.

Detektor	$\varkappa_0$	$\varkappa_B$
Rückkopplungs-Audion	—	0,0056%
Peitschenticker	0,23%	0,64
Telefunken-Schleifer	0,056	0,33
Schleifer des SAC-Empfängers . . .	0,060	0,33

Die reziproken Werte dieser Zahlen können als ein Mass der Empfindlichkeit angesehen werden. Man sieht, dass im Betrieb das Rückkopplungsaudion etwas mehr als 100 mal empfindlicher ist als der Peitschenticker und ca. 60 mal empfindlicher als ein guter Schleifdetektor.

Anhang.

I. Bestimmung von Telephonempfindlichkeiten.

Um ein gutes Telephon für den S. A. C.-Empfänger zu finden, war es notwendig, verschiedene Typen auf ihre Empfindlichkeiten zu prüfen. Man kann dabei folgendermassen verfahren. Man legt an den Fernhörer eine Wechselspannung und verkleinert diese so lange, bis der Ton verschwindet. Die Spannung, bei der dies eintritt, gibt ein Mass für die Empfindlichkeit. Nun hat aber diese Methode gewisse Nachteile:

1. Ist es sehr schwierig, genau definierte kleine Wechselspannungen herzustellen.

2. Können kapazitive Schlüsse das Resultat sehr stark fälschen;

3. Ist bei allen Telephonen die Empfindlichkeit von der Frequenz abhängig.

Wird das Telephon in Verbindung mit dem Ticker oder Schleifer verwendet, so wird es nicht durch einen Wechselstrom genau definierter Amplitude und Frequenz erregt, sondern es folgen sich Stromstösse verschiedener Amplitude und Richtung. Deshalb kamen wir auf den Gedanken, die Empfindlichkeit für einen einzigen Stromimpuls zu messen. Wir erreichten dies durch eine doppelte Potentiometeranordnung. Eine einfache Rechnung zeigt dann, dass man den das Telephon durchfliessenden Strom berechnen kann, wenn man die am ersten Potentiometer abgegriffene Spannung, den am zweiten Potentiometer abgegriffenen Widerstand (der durch eine Präzisionsmessbrücke bestimmt wurde), den Gesamtwiderstand des zweiten Potentiometers und den Widerstand des Telephons kennt. In der folgenden Tabelle sind die so bestimmten Telephon-Widerstände und Empfindlichkeiten zusammengestellt.

Tabelle XXIII.

Bezeichnung	Ohm'scher Widerstand	Empfindlichkeit
Telefunken TTG	1885 Ohm	$1{,}14\times10^{-6}$ Amp.
„ (Wellenmesser) .	1020 „	$2{,}35\times10^{-7}$ „
„ EH 105	1040 „	$1{,}47\times10^{-7}$ „
„ EH 77 b	4150 „	$1{,}07\times10^{-7}$ „
Deutsche Telephonwerke Nr. 1	3050 „	$1{,}51\times10^{-7}$ „
„ „ „ 2	3040 „	$1{,}53\times10^{-7}$ „
„ „ „ 3	2960 „	$1{,}36\times10^{-7}$ „
„ „ „ 4	3100 „	$0{,}74\times10^{-7}$ „
Brandes (New York)	2470 „	$1{,}87\times10^{-7}$ „
Brown Type A 49514 . . .	4100 „	$2{,}15\times10^{-8}$ „
„ „ „ 52461 . . .	5130 „	$1{,}53\times10^{-8}$ „

Die empfindlichsten der untersuchten Telephone sind also die beiden von Brown. Sie haben auch in Verbindung mit dem Schleifer beim Empfang die besten Resultate gegeben.

Weiter bestimmten wir noch die Eigenfrequenzen dieser Fernhörer. Dazu wurde mittels eines Rückkopplungsaudions im Empfangstelephon ein Schwebungston erzeugt, dessen Höhe man variierte. Man findet dann Frequenzen, auf die das Telephon am lautesten anspricht. Bei den meisten Typen liessen sich mehrere solcher Maxima feststellen.

Tabelle XXIV.

Bezeichnung	Eigenfrequenzen
Telefunken TTG	$\overline{\overline{\text{cis}}}$ (stark)
„ (Wellenmesser) .	$\overline{\text{h}}$
„ EH 105 . . .	$\overline{\overline{\text{f}}}$ $\overset{\text{IV}}{\overline{\text{c}}}$ (beide schwach)
„ EH 77 b . . .	$\overset{\text{IV}}{\text{a}}$ (schwach)
Deutsche Telephonwerke 1 .	$\overline{\text{h}}$ $\overline{\overline{\text{h}}}$ $\overset{\text{IV}}{\text{h}}$
„ „ 2 .	$\overset{\text{IV}}{\text{h}}$ h
„ „ 3 .	$\overline{\text{cis}}$ (schwach)
„ „ 4 .	$\overline{\text{cis}}$ (schwach) $\overset{\text{IV}}{\text{cis}}$ (stark)
Brandes (New York) . . .	$\overline{\text{e}}$ $\overset{\text{IV}}{\text{e}}$ $\overset{\text{IV}}{\text{cis}}$ $\overset{\text{IV}}{\text{gis}}$
Brown Type A 49514 . . .	$\overset{\text{IV}}{\text{a}}$ (schwach)
„ „ „ 52461 . . .	nichts sicher nachweisbar

II. Zur Konstruktion des S. A. C.-Empfängers.

Da uns die Aufgabe gestellt war, einen Empfänger für ungedämpfte und gedämpfte Wellen zu konstruieren, der ohne Zuhilfenahme von Batterien oder Akkumulatoren jederzeit betriebsbereit sein sollte, blieb uns nichts anderes übrig, als den nächst der Röhre empfindlichsten Detektor, den Schleifer zu verwenden. Es wurde besonders darauf geachtet, den Empfänger möglichst klein und leicht bedienbar zu bauen. Nach einem Vorschlage von Herrn Prof. Zickendraht verwendeten wir die folgende Schaltung (s. Fig. 12).

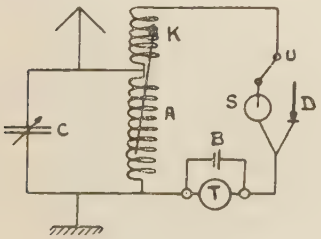

Fig. 12.

Die Spule K ist induktiv und galvanisch mit A gekoppelt. Die induktive Kopplung lässt sich variieren. Der Umschalter U erlaubt, entweder den Schleifer S oder den Kristalldetektor D einzuschalten. Parallel zum Telephon liegt ein fester Kondensator B von ungefähr 1200 cm Kapazität. C ist der Abstimmkondensator. Die Spule A (mehrlagige Zylinderspule) ist leicht auswechselbar. Mit einer Antenne von 750 cm Kapazität und einer Spule A von 180 Windungen auf 8 Lagen verteilt, erhielten wir einen Wellenbereich von 2320—3650 m. Die Aussenmasse des Empfängers, den Fig. 13 zeigt, sind $38{,}5 \times 24 \times 17{,}5$ cm.

Fig. 13.

Wir konnten mit dem Schleifer bei Verwendung einer ca. 20 m langen, eindrähtigen Antenne von bloss 2 m Höhe, die in einem Gange im Erdgeschoss des Institutes ausgespannt war, und bei Benützung eines isolierten, auf dem Boden ausgelegten Drahtes als Gegengewicht die ungedämpften Emissionen von HBB (Münchenbuchsee) und von GLA (Ongar) gut abhören. Die gedämpften Emissionen von *FL* (Paris) waren auch gut hörbar.

Für die Verwendung in den Alpen möchten wir vorschlagen, eine möglichst lange Antenne, womöglich etwa 100 m, mit ebensolchem Gegengewicht an den Empfänger anzuschliessen. Gegengewicht ist direkter Erdung fast immer vorzuziehen.

Wir sind uns wohl bewusst, dass die Verwendung von Elektronenröhren eine sehr viel höhere Empfindlichkeit bieten würde. Es wird aber nicht immer möglich sein, die schweren Heiz- und Anodenbatterien mitzunehmen. Eine befriedigendere Lösung liegt wahrscheinlich in der Verwendung von Elektronenröhren mit

gesteigerter Elektronenemission bei kleinem Heizstrom (sog. „dull emitter"). Doch auch hier sind Batterien immer noch unentbehrlich, so dass ein davon unabhängiger Empfänger wie unserer als Reserve vorhanden sein sollte. Wir möchten übrigens aus eigener Erfahrung im Gebirge davor warnen, von einer grossen Verstärkung hier viel zu erwarten. Versuche im Simplon- und Gotthardgebiete zeigten z. B., dass zu gewissen Tagesstunden die Verwendung eines Niederfrequenzverstärkers fast ganz ausschied, da die atmosphärischen Störungen derart herausgeholt werden, dass sie die Zeichen fast ganz übertönen. Sollten später einmal Röhren zum Empfang im Gebirge verwendet werden, so scheint mir eine Anordnung mit einer Stufe Hochfrequenzverstärkung und Detektorlampe die geeignetste zu sein.

Schlussbemerkung vor der Drucklegung Herbst 1924.

Während der zwei letzten Jahre nahm die drahtlose Telephonie einen solchen Aufschwung, dass auch sie zum Zwecke des meteorologischen Warnungsdienstes in den Alpen verwendet werden wird. Damit fällt natürlich die Verwendung des Tickers zum Empfang dahin. Es ist zwar nicht ausgeschlossen, dass man bei einer guten Antenne in gewissen Teilen der Alpen Empfang mit Kristalldetektoren durchführen kann (wenigstens von unserer Zürcher Station). Die jetzt gut durchgebildeten „dull emitter" (eventuell Doppelgitterröhren) erlauben es, die erforderlichen Heiz- und Anodenbatterien auf ein Minimum zu reduzieren. Ein Kristalldetektor als Reserve sollte aber immer noch bleiben. Der angegebene Apparat lässt sich leicht zu einem Röhrenempfänger umbauen, ohne die Dimensionen zu vergrössern.

Zusammenstellung.

1. Es werden die Charakteristiken von Peitschenticker und Schleifdetektor untersucht.

2. Es wird eine Erklärung der Tickereigenschaften, insbesondere der Gleichrichterwirkung gegeben.

3. Es wird eine Methode zur Messung von extrem losen Kopplungen entwickelt.

4. Die Empfindlichkeiten von Peitschenticker und Schleifdetektor werden unter sich und mit dem Audion verglichen.

5. Es werden Telephonempfindlichkeiten gemessen.

6. Es wird die Konstruktion eines Empfängers mit Schleifer und Kristalldetektor angegeben.

VITA.

Ich, Karl Baumann, wurde am 2. Oktober 1898 in Basel als Sohn des Joseph Karl Baumann, Kaufmann, und seiner Gemahlin Anna geb. Schneider geboren. Ich besuchte die Untere Realschule Basel, trat dann an das österreichische Staatsgymnasium Feldkirch (Vorarlberg) über. Im Herbst 1917 bezog ich das Gymnasium in Schwyz, wo ich im Sommer 1918 an der humanistischen Abteilung die Matura bestand. Im Herbst desselben Jahres fand meine Immatrikulation an der hiesigen Universität statt. Seit dem Sommer 1922 versah ich die Stelle eines Assistenten an der astronomisch-meteorologischen Anstalt.

Während meiner Studienzeit besuchte ich Vorlesungen, Seminarien und Übungen in Experimentalphysik, theoretischer Physik, Astronomie, Mathematik, Chemie und lateinischer Philologie bei den Herren Professoren: A. Hagenbach, F. Fichter, W. Matthies, H. Mohrmann, Th. Niethammer, H. Rupe, O. Spiess, Stroux, H. Veillon, L. Zehnder, H. Zickendraht.

Die vorliegende Arbeit, die im Jahre 1921 begonnen und im Herbst 1923 abgeschlossen wurde, entstand auf Anregung und unter Leitung von Herrn Prof. H. Zickendraht. Ich möchte es nicht unterlassen, allen meinen hochverehrten Lehrern meinen herzlichsten Dank für ihre Mühe auszusprechen. Insbesondere danke ich Herrn Prof. Zickendraht für das Interesse an meiner Arbeit und die vielen wertvollen Anregungen. Herrn Prof. Th. Niethammer verdanke ich manche rechentechnische Ratschläge. Die Mittel zu dieser Arbeit wurden teilweise aus dem Aluminium-Fonds bestritten, wofür ich auch hier meinen besten Dank aussprechen möchte.